Die Röntgenstereoskopie des Schädels und ihre Meßgenauigkeit im Vergleich mit direkten Messungen am mazerierten Schädel und Messungen am Fernröntgenbild

---

von

Heidi Berz

aus Stuttgart

1966

1966 № 49

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535718_0026

Aus der Kieferorthopädischen Abteilung (Vorstand Prof.Dr.Dr.H.Paschke) der Klinik und Poliklinik für Zahn- Mund- und Kieferkranke der Universität Erlangen-Nürnberg (Direktor Prof.Dr.Dr.G.Steinhardt)

Die Röntgenstereoskopie des Schädels und ihre Meßgenauigkeit im Vergleich mit direkten Messungen am mazerierten Schädel und Messungen am Fernröntgenbild.

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Heidi Berz
aus Stuttgart

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Dekan: Prof. Dr. Dr. med. G. Steinhardt

Referent: Prof. Dr. Dr. med. H. Paschke

Tag der mündlichen Prüfung: 14.2.1966

GLIEDERUNG.

I. ALLGEMEINER TEIL

A. Einleitung
Die Bedeutung dreidimensionaler Meßverfahren, insbesondere der Röntgenstereoskopie in der Zahnheilkunde.

B. Die Grundlagen der Röntgenstereoskopie.
1) Physiologische Voraussetzungen
2) Physikalische Voraussetzungen

C. Die Röntgenstereoskopie des Schädels, ihre Probleme und Grenzen.
1) Die Einhaltung der physikalischen Voraussetzungen
a) Aufnahmetechnik und -apparatur
b) Wiedergabetechnik und -apparatur
2) Die Einhaltung der physiologischen Voraussetzungen
3) Die Schwierigkeiten, die durch die anatomischen Gegebenheiten des Objekts gestellt werden
4) Die Grenzen der Wiedergabe

D. Zusammenschau der aufgezeigten Problematik und Vergleich mit der Fernröntgenologie.

II. SPEZIELLER TEIL

A. Durchführung und Auswerung der Versuchsreihen.
1) Versuchsanordnung
a) Allgmeines
b) Expositionen der Röntgenaufnahmen
c) Gemessene Strecken in der Norma frontalis lateralis

B) Direkte Messungen am mazerierten Schädel.

a) Methodik

b) Tabellarische Auswertung der Ergebnisse

c) Diskussion

C) Röntgenologische Messungen.

1) Allgemeines

2) Fernröntgenologische Messungen

a) Methodik

b) Tabellarische Auswertung

c) Diskussion

3) Röntgenstereoskopische Messungen

a) Methodik

b) Tabellarische Auswertung

c) Diskussion

D) Vergleichende Diskussion der Ergebnisse.

III. ZUSAMMENFASSUNG

IV. LITERATUR

I. ALLGEMEINER TEIL

A. Einleitung

Die Bedeutung dreidimensionaler Meßverfahren, insbesondere der Röntgenstereoskopie in der Zahnheilkunde.

Messungen am Röntgenbild des Schädels interessieren nicht nur theoretisch den Anatomen oder Anthropologen, sondern haben große praktische Bedeutung für den behandelnden Arzt, besonders den Kieferorthopäden. Die quantitative Erfassung von bestimmten Skelettpunkten in ihrer Relation zueinander ist unbestritten von hoher diagnostischer und prognostischer Bedeutung.

Eine der Hauptschwierigkeiten solcher Verfahren liegt in der Definition von Skelettpunkten. Selbst am mazerierten Schädel können solche Punkte nur in Annäherungswerten bestimmt werden. Sie unterliegen zu vielen Faktoren, die eine eindeutige geometrische Festlegung unmöglich machen. Die mathematische Definition eines Punktes als geometrischer Ort im Schnitt zweier Geraden läßt sich auf ein organisches, dreidimensionales und durch individuelles Wachstum entstandenes Skelettgebilde nicht übertragen. Die Festlegung erfolgt also unexakt und ist der zufälligen Bestimmung des Untersuchenden überlassen.

Über dabei auftretenden Fehler gibt die Arbeit von BROADWAY, HEALY, und POYTON Auskunft. Es ergab sich bei dreimaliger Prüfung von bestimmten Winkelwerten durch zwei Untersucher eine Standardabweichung von 1^{o} 26' bis 5^{o} 32'.

Bei der Auswertung von Strecken kann die Abweichung also noch größer erwartet werden. Darauf wies auch schon HASSELWANDER hin. Er sagte, daß bei Meßreihen am Skelett die Maße sehr verschieden ausfallen und auch bei sorgfältiger Ausführung um Werte schwanken, die die Millimetergrenze überschreiten. Die Genauigkeit von Messungen am Raumbild können nach seiner Meinung unmöglich genauer erwartet werden. Er weist aber darauf hin, daß die Unschärfe filmferner Teile im Röntgenraumbild gegenüber den üblichen Röntgenaufnahmen nicht so sehr ins Gewicht fällt.

TRENDELENBURG fand eine mittlere Abweichung von 0,1 bis 1,2 mm; KÖHNLE erhielt bei 90% aller Messungen einen Fehler von weniger als 1,0 mm. Es kommen allerdings bei beiden Autoren auch Schwankungen bis zu 3,0 mm vor. STAUDENRAUS, der in einer Untersuchung des Gesichtsschädels im Jugendalter 10 000 Messungen frontaler und sagittaler Schnitte, u.a. auch der Nasenhöhle, durchgeführt hat, kam ebenfalls zu einem Fehler von etwa 1,0 mm.

Ob sich der Fehler durch statistische Fehlerverkleinerung, d.h. durch mehrfache Bestimmung mehrerer, aber unabhängig voneinander das gleiche Objekt

untersuchender Personen einschränken läßt, bleibt abzuwarten.

Abgesehen von den Zähnen, die einer direkten Messung im Mund oder indirekten am Modell zugänglich sind, kann man Schädelmessungen genauer nur auf dem Umweg über das Röntgenbild durchführen. Die anthropologischen Meßmethoden mit Zirkel und Schiene lassen nur die Bestimmung von an der Oberfläche oder nahe dieser gelegenen Skelettpunkten zu. Aber schon die Erfassung von prominenten Schädelpunkten und der entsprechenden Abstände, wie z.B. der Jochbögen oder des Stirn- und Hinterhauptpols, birgt wegen der bedeckenden Weichteile einen beträchtlichen Fehler. Innerhalb des Schädelskelettes gelegene Punkte lassen sich am Patienten direkt überhaupt nicht erfassen.

Auch die Messungen am Röntgenbild, gleichviel um welches Verfahren es sich handelt, weisen mehr oder minder große Fehler auf, die sich nur durch ein exaktes Vorgehen und statistische Meßmethoden in befriedigenden Grenzen halten lassen.

Das Ziel jeder anatomischen, anthropologischen und kieferorthopädischen Auswertung liegt in der dreidimensionalen Erfassung von Skelettgebilden. In der Kieferorthopädie wurde die dreidimensionale Diagnostik von vielen Autoren angestrebt und die verschiedensten Verfahren sind angegeben worden (VAN LOON, SIMON, CIESZINSKI, BROADBENT, DE COSTER, u.a.).

Die üblichen röntgenologischen Verfahren geben die Projektion eines räumlichen Gebildes auf die zweidimensionale Fläche des Röntgenfilmes wieder. Damit werden besonders Körper mit einer tiefen räumlichen Ausbildung und Strukturierung verzerrt abgebildet.

BAUER hat diese verminderte Kongruenz zwischen Objekt und Bild Verzerrung bzw. Verzeichnung genannt. Sie tritt bei der Abbildung von nicht auf einer Ebene liegenden Objektpunkten auf die Filmebene auf. Besonders beim Schädel, mit seinen vielfältigen Knochenstrukturierungen und Hohlraumbildungen mit den entsprechenden sich überlagernden Kortikaliszonen, ist dies der Fall.

Darauf wird auch von KULKARNI hingewiesen, der die Schwierigkeiten apostrophiert, exakt ausgerichtete Fernröntgenaufnahmen anzufertigen, bei denen die Fülle sich überlagernder Knochenschatten noch eine genaue Bestimmung anatomischer cephalometrischer Punkte zuläßt.

Die Bestimmung eines Skelettpunktes auf dem Röntgenbild ist stets problematisch. Aus diesen Gründen ist auch die dreidimensionale Fernröntgenanalyse, wie sie von KULKARNI beschrieben wurde, nur mit abwägender Einschätzung der Fehlergröße zu verwenden. Bei dieser Methode kommt kein direkter dreidimensionaler Effekt, also ein echter stereoskopischer Bildeindruck zustande. Vielmehr müssen

die räumlichen Befunde durch Durchzeichnung von einer in der gemeinsamen Frankfurter Horizontalen ausgerichteten frontalen und sagittalen Fernröntgenaufnahme zeichnerisch ermittelt werden. Das Verfahren beruht also in der Zusammenschau eines Röntgenbildes in der Norma frontalis mit einem in der Norma lateralis.

Eine ähnliche Methode wurde von SASSOUNI zur Beurteilung der Lage der Sechser angegeben.

Das Aufnahmeverfahren und das Übertragen der Werte von einem Bild auf das andere ist nicht unkompliziert, und die Gefahr sich einstellenddr Fehler verhältnismäßig hoch.

Aber auch die Methode der Röntgenstereoskopie ist keinesfalls als einfach und unkompliziert zu betrachten.

B. Die Grundlagen der Röntgenstereoskopie.

1) Physiologische Voraussetzungen

Auf die Bedeutung der Röntgenstereoskopie und ihre Anwendung zu diagnostischen und prognostischen Zwekken ist in der zahnärztlichen Literatur wiederholt hingewiesen worden (KORKHAUS, SCHWARZ, PRAEGER, u.a.).

Es handelt sich dabei um ein Verfahren, bei dem ein dreidimensionales Erfassen des Röntgenbildes erreicht werden kann. Der räumliche Eindruck entsteht durch den physiologischen Vorgang der Verschmelzung von Erfahrung (psychologische) und Em-

pfindung (physiologische Komponente). Die Erfahrungskomponente des stereoskopischen Sehens wird im Laufe der Ontogenese empirisch herausgebildet. Beim Erwachsenen spielt dabei z.B. die Relation zwischen der Netzhautgröße des Bildes und der durch die Erfahrung bekannten wirklichen Größe eines Gegenstandes eine Rolle. So weiß man, daß ein Gegenstand der sich auf der Netzhaut verhältnismäßig klein abbildet, weiter weg sein muß. Es gibt eine ganze Reihe vergleichbarer Erfahrungsphänomene, die die Fähigkeit des räumlichen Sehens mitbedingen. Es soll an dieser Stelle nur noch eins von diesen erwähnt werden. Nähere, erfahrungsgemäß gleich große Gegenstände überdecken gleichgroße Gegenstände, die in gleicher Richtung aber entfernter liegen und werden daher als näher lokalisiert.

Der Mensch hat also die Fähigkeit auf verschiedenenen Wegen, bei denen aber immer die Erfahrung beteiligt ist, Gegenstände in seiner Umwelt räumlich zu koordinieren.

Die andere Komponente, die die Fähigkeit des räumlichen Sehens bedingt, ist zentral-sinnesphysiologischer Natur. Dabei werden fixierte Objektpunkte auf identischen Netzhautpunkten beider Augen (binokuläres Sehen) und damit als einfaches Bild abgebildet. Anders bei nicht fixierten , vor oder hinter dem fixierten Punkt, liegenden Gegenständen, die als Doppelbild zur Abbildung gebracht werden. Die von solchen

Punkten in die Augen einfallenden Strahlen werden (bedingt durch den Augenabstand) auf nicht identischen Netzhautpunkten, sondern um die sogenannte parallaktische Differenz verschoben auf disparaten Netzhautpunkten abgebildet. Gegenstandspunkte, die vor dem fixierten Punkt liegen, erfahren eine bitemporale Querdisparation, werden somit gekreuzt gesehen und als näher empfunden. Gegenstandspunkte, die hinter dem fixierten Punkt liegen erfahren eine binasale Querdisparation, werden gleichnamig gesehen und als fernerliegend aufgefaßt (REIN). Dabei werden die Doppelbilder aber nicht bewußt, sondern zentral zu einem einheitlichen räumlichen Eindruck verschmolzen (Fusion). Nur durch eine besondere Versuchsanordnung kann erreicht werden, daß die Fusion zur Auflösung gebracht und der Vorgang erforschbar gemacht w ird. Die Querdisparation wird noch verstärkt durch die ständige Augenbewegung. Es handelt sich beim räumlichen Sehen also nicht um eine einfache statische Projektion, sondern, bedingt durch die dauernde Fixierungsschwankung, um die Auswertung eines dauernd wechselnden Bewegungsmusters (REIN).

Die Stereoskopie macht sich die Erkenntnis dieser Vorgänge zunutze. Es werden zwei Aufnahmen eines Gegenstandes von zwei verschiedenen Raumpunkten, die auf einer gemeinsamen Basis liegen aus gemacht und jede dieser Aufnahmen dem entsprechenden Auge angeboten. Dies ist aber nur möglich, wenn es gelingt, die mit der Akkomodation gekoppelte Konvergenzbe-

wegung bei der Betrachtung auszuschalten. Dies ist mit den geeigneten optischen Vorrichtungen gut durchführbar. Es muß erreicht werden, daß in jedem Auge der Bildmittelpunkt in der Fovea gesehen wird, dann werden von selbst die näher und ferner gelegenen Raumpunkte des Bildes querdisparat abgebildet und räumlich gesehen werden.

2) Die physikalischen Voraussetzungen

In der Röntgenstereoskopie wird bei unbewegtem Objekt (Patient) mit um den Augenabstand des Betrachters verschobenem Fokus je ein Film hergestellt und jedem Auge dann nur die von dem seitenrichtigen Bild ausgehenden Strahlen angeboten. Dazu ist sowohl eine recht komplizierte Bildaufnahme wie -wiedergabeapparatur nötig!

a) Aufnahmeapparatur

Von der Aufnahmeapparatur wird verlangt, daß zwei Filme mit dem um den Augenabstand des Betrachters verschobenen Fokus hergestellt werden. Dabei darf sich das Objekt nicht bewegen. Um dem Patienten das Ruhighalten zu erleichtern, muß man versuchen, die Filmkassetten möglichst schnell zu wechseln (s.u.). und auch die Röhre schnell um den Augenabstand zu verschieben. Auf die Einzelheiten der Apparatur wird im nächsten Teil noch näher eingegangen werden.

b) Wiedergabeapparatur

Die Wiedergabeapparatur muß es ermöglichen, die beiden Filme so anzuordnen und jeweils einen Film dem entsprechenden Auge des Betrachters sichtbar zu machen, daß ein tautomorphes, stereoskopisches Bild entsteht. Damit die Wiedergabe dem Objekt absolut kongruent ist, wird es nötig, daß der Pupillenabstand des Betrachters, der mit der Fokusverschiebung zur Übereinkunft gebracht wurde mit der "Basis" übereinstimmt. D.h., daß die Spiegel des Stereookulars entsprechend diesem Abstand eingestellt werden. Außerdem müssen die Bilder seitenrichtig angeordnet und der Fokus-Film-Abstand mit dem Betrachtungsabstand übereinstimmen. Jede Abweichung von einer dieser Voraussetzungen bedingt einen nur raumähnlichen "homoiomorphen" Eindruck, der eine Maßanalyse nicht mehr zuläßt.
(Die von uns verwendete Apparatur wird im nächsten Teil beschrieben).
BARTH bedient sich der heteroskopischen Darstellung, da durch das heteroskopische Bild die Übersichtlichkeit gesteigert und die Deutlichkeit der Strukturen verbessert wird. Er verzichtet bewußt auf die Möglichkeit der Metrischen Auswertung des tautomorphen Bildes zu Gunsten des eindrucksvolleren stereoskopischen Sehens.

C. Die Röntgenstereoskopie des Schädels, ihre Probleme und Grenzen.

Bisweilen wurden die Vorteile der Röntgenstereoskopie des Schädels beschrieben und so herausgestellt, daß sie dem unbefangenen Leser imponieren mußten. So sagt z.B. KORKHAUS, es handele sich um ein Verfahren, das zu unrecht als kompliziert und zeitraubend angesprochen werde. Er befürwortet auch die Meinung PRAEGERS , daß die Entwicklung des Röntgenraumbildes reichen Nutzen auf allen Gebieten der wissenschaftlichen und "Praktischen" Kieferorthopädie bringen dürfte.

Dennoch hat sich die Röntgenstereoskopie zur Diagnose und Befunderhebung innerhalb unseres Fachgebietes nicht nachhaltig durchzusetzen vermocht.

Es soll versucht werden, hierfür einige mögliche Gründe zu finden und zu erläutern.

Einmal sind es gewiß die wohl nicht ganz unkomplizierten Aufnahme- und Betrachtungsbedingungen, die verantwortlich zu machen wären, zum anderen aber auch bestimmte physiologische und anatomische Voraussetzungen beim Betrachter wie anatomische des zu betrachtenden Objektes.

Drei Dinge sind hier anzuführen und zu diskutieren:

1) Die Einhaltung der physikalischen Voraussetzungen zur Röntgenstereoskopie
   a) Aufnahmetechnik und -Apparatur
   b) Wiedergabetechnik und -Apparatur

2) Die Einhaltung physiologischer Voraussetzungen

3) Schwierigkeiten, die durch die anatomischen Gegebenheiten des Objektes gestellt werden

ad 1/a) Die exakte und unveränderte Beziehung des Ob- zu den Filmen muß gewährleistet sein. Das heißt, der Patient muß in unveränderter Lage so lange ausharren, bis die beiden stereoskopischen Teilbilder belichtet sind. Dazu ist es notwendig, die Filmkassette auszutauschen bzw. eine zweite Kassette exakt an den Platz der ersten zu bringen und dann so schnell wie möglich die Röhre zu verschieben. Obwohl die verschiedensten automatischen Kassetten- und Röhrenverschieber konstruiert worden sind (z.B. von SIEMENS, ELEMA-SCHÖNANDER, KOCH u.STERZEL, u.a.) liegt schon hier die erste größere Fehlerquelle. Eine geringe Lageveränderung des Kopfes, auch während des durch automatische Vorrichtungen auf eine kurze Zeitspanne verkürzten Verschiebe bzw. Austauschvorganges, läßt sich oft nicht verhindern. Das gilt vor allem deshalb, weil die Haltung des Kopfes z.B. bei der p.a. - Aufnahme zur Herausprojektion des Keilbeins und der Schädelbasis nicht die natürliche ist und daher Verwacklungen begünstigt. Die meisten Geräte verlangen eine Aufnahmetechnik in sitzender oder liegender Haltung. Dadurch wird die Gefahr des Bewegens noch erhöht. Die beste Möglichkeit zur Belichtung der beiden Filme unter annähernd gleichen Bedingungen wäre wahrscheinlich am stehenden Patienten gegeben, weil dabei das Verwackeln am besten reduziert werden kann.

Wir haben zur Herstellung der Stereoaufnahmen einen Röhrenverschieber und einen Kassettenschlitten verwendet, der auf Anregung von Prof. Paschke und Mitarbeiter von den Siemens-Reiniger-Werken AG. entworfen und angefertigt worden ist.
An das vorhandene Säulenstativ mit an einen Röhrentragarm angebauten Pantixölhaube (mit Röhre P 125/30/50) und Vollfedertiefenblende (sämtliche Normalausführung der Firma Siemens-Reiniger-Werke AG) wurde zur Verschiebung der Röntgenröhre ein Gleichstrommotor in ein Gehäuse mit Tragflansch eingebaut und an den Stativlaufwagen angesetzt. Abb. 1
Durch den Motor wird über eine elektromagnetische Kupplung ein Zahnrad bewegt, welches über eine Zahnstange den Röhrenarm und damit die Röhre verschiebt. Die zum Betrieb des Motors notwendige Gleichspannung von 12 Volt wird vom Netzgerät der Tiefenblende eingespeist.Die Einschaltung des Bewegungsablaufes erfolgt über eine Drucktaste vom Schaltraum des Röntgenapparates aus. Die Abschaltung erfolgt über eine Kontaktschiene über einen Mikroschalter und wirkt sich direkt auf die Kupplung aus. Dadurch wird ein Nachlauf verhindert. Durch Einstellung der Kontaktschiene ist es möglich, die Röhrenverschiebung entsprechend dem Augenabstand des Betrachters zu varieren. Abb. 2
Die Kassettenverschiebeeinrichtung besteht aus einer Laufvorrichtung mit Kassettenlaufwagen, der zwischen

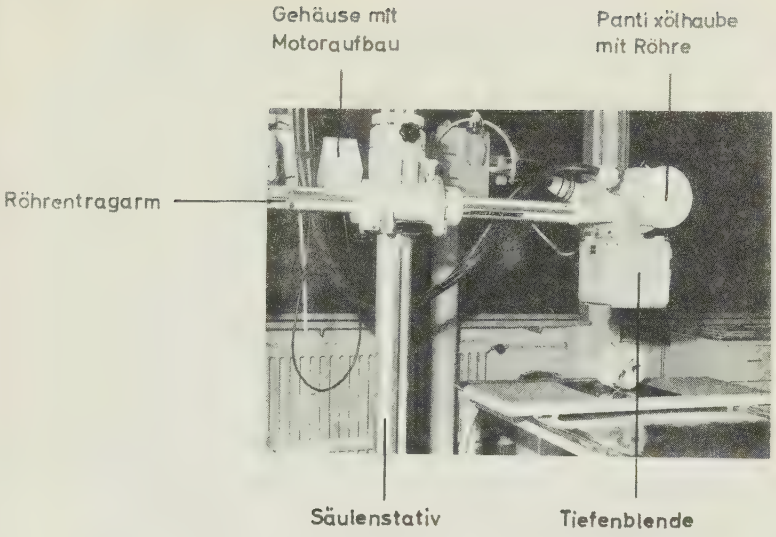

Gehäuse mit
Motoraufbau
Panti xölhaube
mit Röhre
Röhrentragarm
Säulenstativ
Tiefenblende

Abb. 1

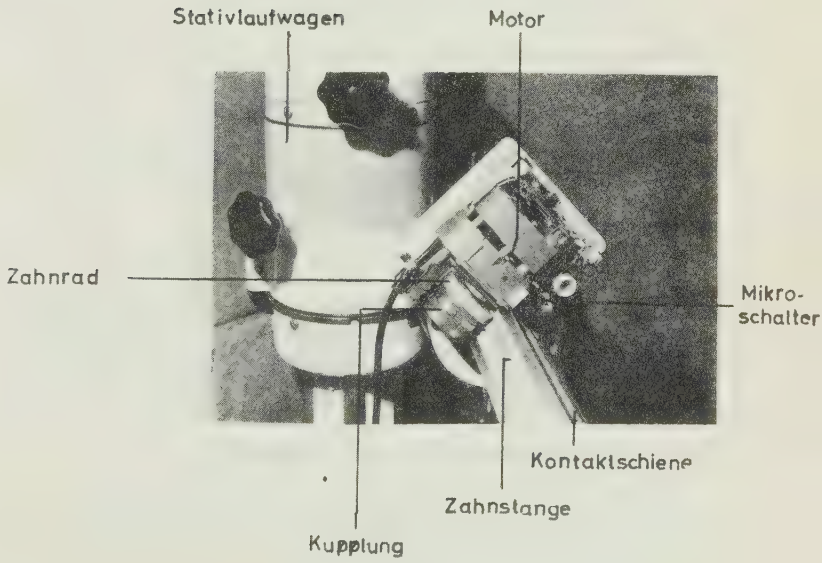

Stativlaufwagen
Motor
Zahnrad
Mikro-
schalter
Kontaktschiene
Zahnstange
Kupplung

Abb. 2

zwei Schienen kugelgelagert aufgehängt ist. Je nach Objektgröße können zwei Kassetten für das Filmformat 18 x 24 oder 24 x 30 eingelegt werden. Der klappbare Deckel ist mit einer 1,5 mm dicken Bleiabschirmung versehen, um die zweite Kassette gegen eine Vor- und die erste Kassette gegen eine Nachbelichtung zu schützen. In der Mitte des Deckels wurde ein Wolframvielliniенraster W 5/50 zur Verminderung der Streustrahlen und somit Kontrastanhebung eingbaut. Über dem Raster ist eine Kunststoffplatte mit Fadenkreuz angeordnet, auf welcher zwei Bleikreuze entsprechend dem Augenabstand des Betrachters angebracht sind, um eine exakte Markierung und Lagerung zu ermöglichen. Abb. 3 und 4
In der Ausgangsstellung für die erste Aufnahme wird der Laufwagen gegen eine Feder gespannt durch einen Hebel festgehalten. Nach erfolgter erster Aufnahme wird vom Schaltraum durch Betätigung der erwähnten Drucktaste der Hebel mittels eines Relais ausgeklinkt und die zweite Kassette durch den Laufwagen in Aufnahmestellung gebracht.
Beide Aufnahmen können dabei in einer Zeit von unter drei Sekunden erfolgen, d.h. in einer wesentlich geringeren Zeitspanne, als wenn die Verschiebung von Kassetten und Fokus von Hand erfolgt.

ad b) Wiedergabetechnik und -apparatur.

Hier können die Bedingungen, also die Kongruenz des Strahlenganges, der Abstand der Bildträger, der

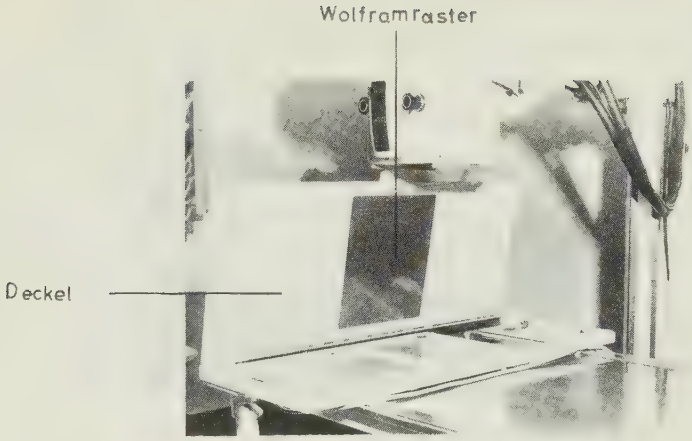

Wolframraster
Deckel

Abb. 3

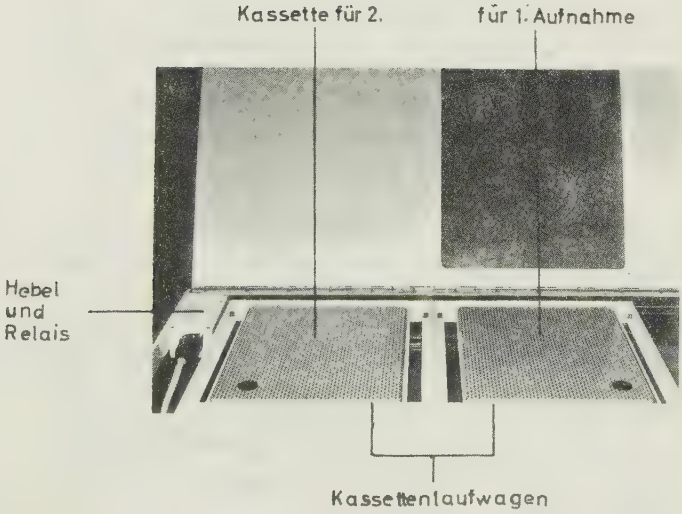

Kassette für 2.
für 1. Aufnahme
Hebel
und
Relais
Kassettenlaufwagen

Abb. 4

dem Objekt-Fokusabstand entsprechen muß; der Abstand der Betrachtungslinsen, der mit der Röhrenverschiebung übereinstimmen muß (Aufnahmebasis) usw. mit einiger Sicherheit eingehalten werden. Eine Fehlerquelle kann aber auch hier leicht auftreten, wenn nicht mit genügender Sorgfalt gearbeitet wird.
Wir haben uns des von HASSELWANDER beschriebenen Gerätes bedient, dessen Aussehen Abb. 5 und dessen Strahlengang Abb. 6 zeigt. Es entspricht im Wesentlichen dem von WHEATSTONE im Jahre 1838 angegebenen Zweispiegelstereoskop.
Auf einer optischen Bank senkrecht montiert sind seitlich auf massiven Reitern die Filmträger und in der Mitte das Stereookular. Dadurch wird verhindert, daß das jedem Auge zugehörige Bild nicht um die vertikale Achse geschwenkt und nicht um die quere Achse gekippt wird. Die Filmträger (Abb. 7) sind Milchglasscheiben, auf denen die Achsenstrahlfußpunkte eingeätzt sind. Von der Exaktheit der Kennzeichnung dieser Punkte, mit welchen die auf den Filmen abgebildeten Fußpunktmarken in Deckung gebracht werden müssen, hängt für die Raumrichtigkeit sehr viel ab. Diese beiden Marken rechts und links vom Betrachter nämlich müssen auf der optischen Achse liegen, welche die beiden Spiegel des Stereookulars an den Punkten trifft, wo die reflektierten Achsenstrahlen im rechten Winkel in die Augen des Betrachters zurückgeworfen werden.

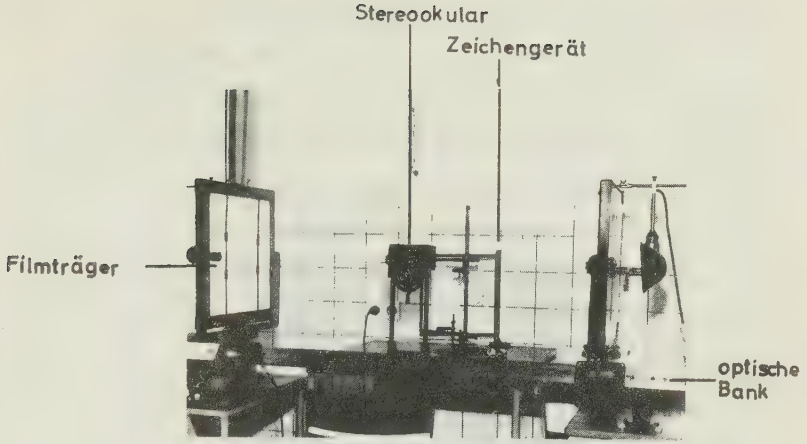

Stereookular
Zeichengerät
Filmträger
optische Bank

Abb. 5

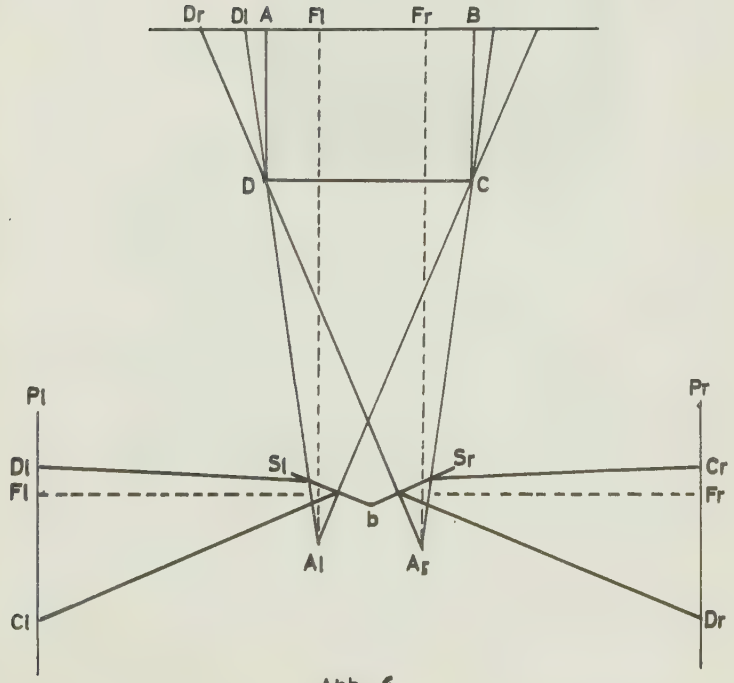

Dr
Dl
A
Fl
Fr
B
D
C
Pl
Pr
Dl
Fl
Sl
Sr
Cr
Fr
b
Al
Ar
Cl
Dr

Abb. 6

Auf den Milchglasscheiben zeigt je ein zweiter, auf der gleichen Höhe wie die Achsenstrahlfußpunkte eingeätzter Punkt die Horizontallinie an, auf die die beiden Fußpunktschatten jedes Films einzustellen sind. Durch diese Festlegung der Horizontalebene beider Fußpunkte wird einer Verkantung um die sagittale Achse vorgebeugt. Außerdem ist damit die Höhe der Achsenstrahlfußpunkte festgelegt und eine Verschiebung in seitlicher Richtung ausgeschlossen. Die Einstellung der Bildweite, also des Abstandes des Films vom Auge, erfolgt auf der Skala der optischen Bank. Diese Skala wird von einer Stufe der Okularmuschel an gerechnet, die als Widerlager für den lateralen Augenhöhlenrand dient.
Nach einer Untersuchung von RID kann man für die Lage der Prominenz des Hornhautscheitels vor dem lateralen Augenhöhlenrand einen Mittelwert von 16,78 mm annehmen. Dies entspricht der angenommenen Lage des Augendrehpunktes. Es kommen aber Schwankungen vor, die man mit $\pm$3 mm in Rechnung stellen kann. Durch Fehler in der Bildweiteneinstellung in der Größe von 3 mm aber werden Messungsfehler in Größenordnungen von Zehntel Millimeter verursacht, die bei der Untersuchungsart, wie sie z.B. am menschlichen Schädel vorgenommen wird nicht mehr sicher erfaßt werden können.

Abb. 7

Die Abb. 6 zeigt den Grundriß des Strahlenganges bei einer für stereoskopische Röntgenbilder benötigten Doppelaufnahme. Zwischen den beiden Röhrenfokussen Rl und Rr, (entweder von in zwei im Abstand der Basis b voneinander aufgestellten und nacheinander eingeschalteten Röhren, oder auch von einer einzigen, zwischen den beiden Aufnahmen um den Betrag b verschobenen Röhre, wie bei dem von uns verwandten Gerät) und der Ebene der beiden nacheinander zu belichtenden Filme liegt der Körper, dessen Grundriß die vier Ecken ABCD veranschaulichen.
Die Achsenstrahlen fl und fr treffen die Filmebene in den Achsenstrahlfußpunkten Fl und Fr. Von einem Körperpunkt, z.B. von D, werden Schatten Dl und Dr auf die Filme geworfen, welche untereinander die "parallaktische Differenz" p ihres Abstandes zeigen. Die beiden so gewonnenen Bilder werden im Stereoskiagraphen den Augendrehpunkten Al und Ar gegenübergestellt und rufen dort wieder den gleichen Strahlengang hervor, nur in umgekehrter Richtung von den Filmen zum Auge.
In jedes Auge werden durch die Spiegel Sl und Sr nur die von den zugehörigen seitlich, und zwar spiegelbildlich aufgestellten und von hinten beleuchteten Filmen Pl und Pr herkommenden Strahlen reflektiert, so daß der Betrachter in deren Verlängerung das virtuelle Bild erblickt, das also hinter den Spiegeln zu schweben scheint. Wo zwei einem

Raumpunkt zugeordnete Strahlen sich schneiden, (z.B. die von D1 und Dr herkommenden in D), dorthin verlegt der Betrachter diesen Raumpunkt, denn diese Strahlen, treffen ja seine Netzhaut genau so, als ob sie von einem realen Objekt herkommen würden. Dadurch daß die Spiegel durchsichtig sind, kann das Raumbild, welches in greifbarer Plastik vor dem Betrachter schwebt, direkt zeichnerisch erfaßt werden.

ad 2) Die Einhaltung physiologischer Voraussetzungen. Hierzu soll bemerkt werden, daß das Erfassen eines Röntgenraumbildes ein sinnesphysiologischer Vorgang ist, der naturgemäß mit einer großen "subjektiven" Komponente behaftet ist. Jeder der stereoskopisch arbeitet wird bemerken, daß das Vermögen, stereoskopisch zu sehen, dem physiologischen Prozeß der Ermüdung unterworfen ist und auch, daß das stereoskopische Sehvermögen jedes einzelnen Betrachters von Tag zu Tag sehr schwankend sein kann (KÖHNLE). Wieviel größer muß dann die Abweichung der Auswertungsergebnisse verschiedener Betrachter sein.

ad 3) Die Schwierigkeiten, die durch die anatomischen Gegebenheiten des Objekts gestellt werden

Beim üblichen P.A. Röntgenbild des Gesichtschädels werden die Projektionsschatten aller sich röntgenologisch darstellender Teile auf der Filmebene flä-

chenhaft abgebildet. Dadurch wird eine genaue Lokalisierung häufig unmöglich. Beim stereoskopischen Bild erfolgt eine Auflösung der Projektionsschatten in die Tiefe, und es wird die Möglichkeit geschaffen, dreidimensional, also sagittal - transversal - vertikal räumlich zu sehen. Das ist ein einmaliger Vorteil.

HASSELWANDER behauptet, daß man die Gebilde des lebenden Körpers, sofern sie überhaupt mit Röntgenstrahlen abgebildet werden können, im Röntgenraumbild untersuchen kann wie am Objekt selber. Das heißt große, übersichtlich angeordnete und gleichmäßig ausgebildete Skeletteile, wie z.B. das Thorax- oder Beckenskelett, lassen sich recht gut auswerten. Solche Gebilde aber, die am Objekt selber einer Untersuchung gewisse Schwierigkeiten bieten, sind auch im Raumbild schwerer zu erfassen. Das gilt leider auch für den uns interessierenden Bereich des Kiefergesichtsschädels. Das röntgenstereoskopische Erfassen wird umso schwerer, je kleiner die räumlichen Verhältnisse sind und je mehr Knochen- und Weichteilschatten, sogenannte "diskrete Punkte" (KÖHNLE), sich auf dem Bilde überlagern. Es gelingt dann nicht, oder nur bedingt, den physiologischen Auflösungsvorgang ins Räumliche zu vollziehen. Bei der Betrachtung von Raumbildern des Schädels (p.a.) fällt auf, daß sich die dreidimensionale Konfiguration der Schädelcalotte,oder auch die der Mandibula, recht

schön erkennen läßt. Die räumliche Erfassung des Oberkiefer - und Nasenskelettes dagegen ist äußerst schwierig, da die Fülle der sich überlagernden Konturen eine räumliche Zuordnung auch beim stereoskopischen Betrachtungsverfahren sehr erschwert. So äußern sich z.B. VAN EBBENHOERST - TENGBERGEN und VAN ALBADA zur Stereoskopie der Zähne, vor allem im Oberkiefer, sehr zurückhaltend und bestreiten die maßanalytische Auswertbarkeit von intraoralen Einzelfilmen ganz. Es sind zwar inzwischen verschiedene Methoden der intraoralen Filmfixierung und Auswechselung angegeben worden (HEYDEN, PRAEGER, SCHINDLER, MÜLLER, GRÜNERT, u.a.), ausreichende Voraussetzungen für eine metrische Auswertung können sie aber nicht oder nur bedingt bieten. Zur Feststellung und Lokalisation verlagerter Zähne, Tumoren, Fremdkörper u.a. reichen diese Verfahren unserer Meinung nach jedoch aus und bieten darüberhinaus erhebliche diagnostische Vorteile.

Zur stereoskopischen Betrachtung des Oberkiefer - und Nasenskelettes, die insbesondere den Kieferorthopäden interessiert, werden verschiedene Meinungen vertreten. VAN EBBENHORST - TENGBERGEN und VAN ALBADA sind der Auffassung, daß die Entwirrung der vor allem in diesem Bereich vielfach aufeinanderprojezierten Skelettlinien nicht möglich sei. Ähnlicher Meinung ist auch GERKE. Andere Autoren sind jedoch gegen-

teiliger Ansicht und weisen auf die ausreichende Anwendbarkeit des stereoskopischen Verfahrens auch im Kiefergesichtsschädel und damit im Nasenbereich hin. Insbesondere die Arbeiten von PASCHKE und STAUDENRAUS, denen wir einige grundlegende Erkenntnissen über die Entwicklung des Nasenskelettes und über dessen Veränderung bei kieferorthopädischer Behandlung verdanken, sind hier anzuführen.

4) Die Grenzen der Wiedergabe

Ein gewisser Nachteil der Röntgenstereoskopie besteht darin, daß das Raumbild immer nur von einem Betrachter in einem speziell konstruierten Betrachtungsgerät gesehen werden kann. Eine Verwertung im wissenschaftlichen Vortrag und in Publikationen ist also direkt nicht möglich, sondern nur auf dem Umweg über die zahlenmäßige metrische Auswertung.

Zusammenschau der aufgezeigten Problematik und Vergleich mit der Fernröntgenologie.

Man muß die rein betrachtende, diagnostische Methode von der maßanalytischen, vergleichenden trennen. Für die erste reichen die Aufnahmebedingungen sowohl bei intra - wie extraoralen Verfahren meist aus. Es kommt dabei ja nicht so sehr auf die Gewinnung exakt meßbarer Werte an, vielmehr müssen nur zwei annähernd den physikalischen Voraussetzungen

der Röntgenraumbildproduktion nahekommende Filme hergestellt werden. Der Vorteil solcher röntgenstereoskopischer Bilder liegt im einmaligen Raumeindruck. Man sieht dabei die Skelettverhältnisse in ihrer wirklichen dreidimensionalen Konfiguration und hat diagnostische Möglichkeiten, die durch das plane Röntgenverfahren wohl nicht erreicht werden. Die Freude am Röntgenbild, wie PRAEGER sagt, wird wirklich erhöht. Zu diagnostischen Zwecken reicht die Exaktheit der hergestellten Raumbilder trotz etwaiger kleinerer Abweichungen völlig aus. Es kann ein Eindruck gewonnen werden, der dem eines üblichen plan projezierten Röntgenbildes weit überlegen ist. Ob allerdings das Röntgenstereoskopische Bild des Kiefergesichtsschädelbereiches einer maßanalytischen Auswertung zugänglich ist, oder ob diesem andere Verfahren, wie z.B. die Fernröntgenmethode (kombiniert in der Norma frontalis und lateralis) überlegen sind, soll durch die folgende Untersuchung festgestellt werden.

Die Fernröntgenmethode läßt eine metrische Auswertung in der Sagittalen (Norma lateralis) und der Transversalen (Norma frontalis) zu. Der Vorteil dieser Methode liegt in der leichteren Herstellbarkeit der Filme, der direkten Auswertbarkeit und Darstellbarkeit in Publikationen und außerdem in

der Tatsache, daß die Meßstrecken auf dem Röntgenbild mit den natürlichen durch die typischen Abstandsverhältnisse von Film, Objekt und Fokus nahezu übereinstimmen. Nach BAUER beträgt die Vergrößerung des Bildes gegenüber dem Objekt bei der Fernröntgenaufnahme nur etwa 5 - 10%. Auch die verschieden große Abbildung von filmnahen und filmfernen Objektpunkten soll durch die Fernaufnahme weitgehend reduziert werden (JUNG).

Bei den Werten der Röntgenstereoskopie dagegen handelt es sich wegen des geringen Fokus - Film - Abstandes um stark vergrößerte Werte, die zuerst umgerechnet werden müssen, wenn man die objektgleichen metrischen Verhältnisse erhalten will. Da es in der ärztlichen Diagnostik jedoch nicht auf die Größe der Werte ankommt, sondern auf die Veränderung derselben gegenüber dem pathologischen Befund vor erfolgter Behandlung, so wird auf diese Umrechnung der Rationalisierung des Verfahrens wegen fast immer verzichtet.

In der Röntgenstereoskopie bleibt der Unterschied im Abbildungsmaßstab filmnaher und filmferner Objektpunkte trotz der räumlichen Auflösung bei der Betrachtung erhalten (HASSELWANDER), das heißt, die Auswertung von Strecken, die auf einer parallel zur Filmebene gelegenen Ebene liegen, ist genauer möglich, die Auswertung von Strecken aber, die Punkte

auf verschiedenen Ebenen verbinden, muß desto ungenauer werden, je weiter diese Ebenen voneinander und von der Filmebene entfernt sind.

II. SPEZIELLER TEIL

A. Durchführung und Auswertung der Versuchsreihen

1) Versuchsanordnung

a) Allgemeines

Die folgende Untersuchung soll in einem statistischen Vergleich mit den Ergebnissen der direkten Messungen am mazerierten Schädel über den Grad der Verzerrung und die Meßgenauigkeit von fernröntgenologischen und röntgenstereoskopischen Schädelaufnahmen Aufschluß geben. Dabei ist zu erwähnen, daß bei der Versuchsanordnung vereinfachte Bedingungen bestanden, wie sie bei der Aufnahme am Patienten normalerweise nicht vorliegen können. Dadurch wird die Möglichkeit des Verwackelns während der Aufnahme - im Falle der Röntgenstereoskopie während der Röhren- und Kassettenverschiebung - ausgeschaltet. Außerdem ist zu bemerken, daß die Bildqualität durch das Fehlen der Weichteilüberlagerung besser ist und dadurch die Auswertung erleichtert wird.

b) Exposition der Röntgenaufnahmen

Zur vergleichenden Auswertung der fernröntgenologischen und röntgenstereoskopischen Aufnahmen wurden

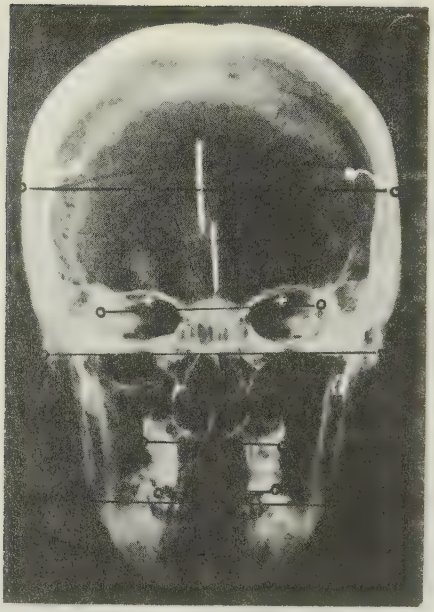


Abb. 8
Norma frontalis

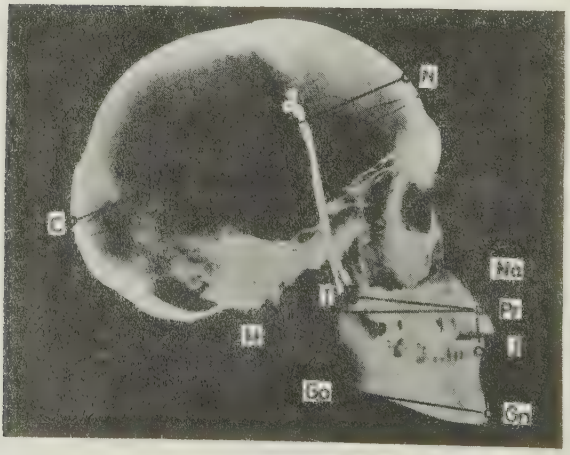


Abb. 9
Norma lateralis

zwei typische Expositionen gewählt:

1. Die p.a. Projektion, wie sie modifiziert schon von RICHTER angegeben worden ist. Dabei wird der Schädel sagittal zur Kassette eingestellt und berührt diese nur mit der Spina nasalis anterior und dem Os frontale.

2. Die bitemporale Projektion, bei der der Strahlengang transversal verläuft und beide Seiten übereinander projeziert werden.

c) Gemessene Strecken

Gemessen wurden folgende Strecken in der Norma Frontalis: Abb. 8

1. Zygionverbindungslinie
   (Verbindungslinie der am weitesten lateral gelegenen Jochbogenpunkte)
2. Gonionverbindungslinie
   (Verbindungslinie der am weitesten lateral gelegenen Kieferwinkelpunkte am Übergang vom horizontalen zum aufsteigenden Ast)
3. Verbindungslinie der Laterocranialpunkte
   (Unter dem Laterocranialpunkt (nach SASSOUNI auch als Lateroorbitalpunkt bezeichnet) versteht man den bilateralen Schnittpunkt zwischen dem äußeren Orbitalrand und der im Röntgenbild schräg dazu verlaufenden Projektion der Ala magna des Os sphenoidale. (Es handelt sich bei dieser Linie nicht um eine anatomische sondern um eine röntgenologische Linie; sie wird auch L. innominata genannt).

4. Verbindungslinie der breitesten Stelle der Apertura piriformis
5. Verbindungslinie der breitesten Stelle des Oberkiefers
6. Bimolarlinie
   (Verbindungslinie der buccalen Höcker der beiden ersten Molaren in Okklusionsstellung.
7. Verbindungslinie der beiden am weitesten lateral gelegenen Punkte der Schädelkalotte.

Norma Lateralis: Abb. 9

1. Gnathion - Gonion - Verbindungslinie
   (Länge des horizontalen Unterkieferastes)
2. Verbindungslinie von Nasospinale und Gnathion.
3. Verbindungslinie des am weitesten frontal und am weitesten dorsal gelegenen Punktes der Kalotte.
4. Verbindungslinie des Prosthion mit dem am weitesten dorsal gelegenen Punkt des Tuber maxillare
5. Prosthion - Gnathion - Verbindungslinie
6. Verbindungslinie der Prosthion mit dem am weitesten dorsal gelegenen Punkt des Processus mastoideus.
7. Verbindungslinie von Infradentale und Prosthion.

2) Direkte Messungen am mazerierten Schädel.

a) Methodik

Die oben angeführten Strecken, mit Ausnahme der Verbindungslinie der beiden Laterocranial punkte (nur röntgenologisch zu ermittelnde Begrenzung), sind von sechs Versuchspersonen ausgemessen worden. Dabei wurden je zehn Messungen zu zehn, durch mindestens einen Abstand von zwei Stunden getrennten Zeitpunkten, durchgeführt.
Die Messungen erfolgten mit einer Schublehre. Abgelesen wurde auf zwei Dezimalstellen mit Nonius.

b) Tabellarische Auswertung.

Da jede Versuchsperson von jeder Strecke am mazerierten Schädel zehn Messungen genommen hat, sind je sechzig Messungen durchgeführt worden.
Für die Messungen jeder Versuchsperson ist der Mittelwert festgestellt worden. Außerdem wurde der Gesamtmittelwert aller Messungen errechnet.
Die größte und die mittlere Abweichung der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert wurde festgestellt und in Prozent ausgedrückt.

Insgesamt sind von den Messungen am mazerierten Schädel somit dreizehn Ausmessungstabellen zu sechs Kolonnen mit je zehn Werten aufgestellt worden.
Die Ergebnisse werden am Ende des tabellarischen Teils diskutiert.

Messungen am Schädel (Norma frontalis)

1.Zygionverbindungslinie: Von 6 Versuchspersonen je 10 Messunge

1	13,70	13,69	13,69	13,68	13,69	13,60
2	13,69	14,05	13,65	13,70	13,70	13,68
3	13,71	13,69	13,72	13,69	13,71	13,64
4	13,72	13,69	13,71	13,71	13,70	13,62
5	13,70	13,70	13,69	13,68	13,70	13,65
6	13,68	13,68	13,70	13,69	13,69	13,60
7	13,69	13,67	13,68	13,67	13,67	13,68
8	13,71	13,69	13,69	13,69	13,69	13,69
9	13,72	13,68	13,67	13,70	13,68	13,59
10	13,69	13,69	13,69	13,71	13,69	13,60
S.	137,01	137,23	136,89	136,92	136,92	136,35

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 136,88. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: +0,13
+0,35
+0,01
+0,04
+0,04
-0,53

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,53. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,38% (wenn 136,88 = 100%). Die mittlere Abweichung beträgt 0,18, das entspricht 0,13%.

2. Gonionverbindungslinie:

1	10,10	10,07	10,10	10,11	10,10	10,10
2	10,09	10,09	10,09	10,10	10,10	10,09
3	10,09	10,09	10,19	10,09	10,09	10,08
4	10,10	10,10	10,11	10,01	10,11	10,15
5	10,11	10,08	10,12	10,11	10,10	10,20
6	10,10	10,10	10,10	10,10	10,11	10,09
7	10,09	10,11	10,11	10,09	10,09	10,10
8	10,09	10,08	10,11	10,12	10,13	10,10
9	10,10	10,11	10,10	10,15	10,15	10,25
10	10,00	10,09	10,12	10,12	10,11	10,09
S.	100,87	100,92	101,15	101,00	101,09	101,25

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 101,04. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,17

-0,12

+0,09

-0,04

+0,05

+0,21

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,21. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,20% (wenn 101,04 = 100%). Die mittlere Abweichung beträgt 0,11, das entspricht 0,11%.

3. Verbindungslinie der Laterocranialpunkte:

Bei der direkten Messung am mazerierten Schädel fällt diese Strecke aus den oben beschriebenen Gründen aus.

4. Apertura piriformis:

1	2,35	2,35	2,29	2,34	2,21	2,35
2	2,34	2,31	2,35	2,33	2,25	2,40
3	2,30	2,33	2,35	2,35	2,31	2,25
4	2,35	2,31	2,31	2,32	2,33	2,29
5	2,31	2,40	2,33	2,37	2,39	2,34
6	2,34	2,31	2,35	2,38	2,35	2,35
7	2,32	2,34	2,34	2,39	2,30	2,30
8	2,30	2,33	2,39	2,36	2,33	2,25
9	2,33	2,34	2,20	2,35	2,32	2,39
10	2,31	2,35	2,38	2,20	2,34	2,30
S.	23,25	23,37	23,29	23,39	23,13	23,22

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 23,27. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit:

-0,02
+0,10
+0,02
+0,11
-0,14
-0,05

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,14. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,60% (wenn 23,27=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,07, das entspricht 0,30%.

5. Oberkiefer:

1	5,65	5,75	5,71	5,76	5,78	5,70
2	5,81	5,72	5,75	5,75	5,65	5,73
3	5,79	5,76	5,73	5,78	5,79	5,80
4	5,85	5,70	5,78	5,79	5,75	5,71
5	5,81	5,71	5,80	5,77	5,77	5,79
6	5,79	5,73	5,79	5,79	5,70	5,79
7	5,82	5,75	5,78	5,80	5,73	5,75
8	5,83	5,77	5,79	5,76	5,75	5,80
9	5,80	5,75	5,80	5,78	5,78	5,69
10	5,81	5,76	5,79	5,79	5,77	5,75
S.	57,96	57,30	57,72	57,77	57,47	57,51

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 57,62. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: +0,34
-0,30
+0,10
+0,15
-0,15
-0,11

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,34.Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,59% (wenn 57,62=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,19, das entspricht 0,32%.

6. Bimolarlinie:

1	5,65	5,45	5,61	5,36	5,68	5,30
2	5,50	5,55	5,70	5,50	5,69	5,25
3	5,31	5,50	5,59	5,45	5,59	5,42
4	5,35	5,51	5,58	5,45	5,45	5,51
5	5,39	5,52	5,39	5,58	5,40	5,59
6	5,45	5,50	5,40	5,39	5,39	5,50
7	5,55	5,45	5,38	5,35	5,41	5,49
8	5,50	5,41	5,37	5,54	5,42	5,55
9	5,45	5,45	5,40	5,55	5,35	5,59
10	5,53	5,50	5,39	5,37	5,50	5,69
S.	54,68	54,84	54,81	54,54	54,88	54,89

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 54,77. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,09
+0,07
+0,04
-0,23
+0,11
+0,12

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,23. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,41% (wenn 54,77=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,11, das entspricht 0,20%.

7. Schädelcalotte:

1	14,20	14,37	14,24	14,26	14,20	14,01
2	14,40	14,20	14,05	14,25	14,25	14,50
3	14,36	14,21	14,10	14,21	14,20	14,24
4	14,24	14,31	14,15	14,30	14,25	14,24
5	14,48	14,29	14,30	14,29	14,19	14,90
6	14,20	14,30	14,31	14,35	14,38	14,95
7	14,23	14,29	14,29	14,33	14,29	14,05
8	14,31	14,25	14,38	14,31	14,35	14,66
9	14,25	14,28	14,39	14,32	14,31	14,51
10	14,30	14,29	14,35	14,31	14,30	14,85
S.	142,97	142,79	142,56	142,93	142,62	142,91

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 142,79. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: +0,18

±0

-0,23

+0,14

-0,17

+0,12

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,23. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,16% (wenn 142,79=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,14, das entspricht 0,09%.

Messungen am Schädel (Norma lateralis)

1. Gnathion - Gonion - Verbindungslinie:

1	9,75	9,59	9,56	9,64	9,55	9,81
2	9,66	9,55	9,60	9,69	9,69	9,75
3	9,80	9,60	9,62	9,65	9,70	9,69
4	9,79	9,59	9,70	9,70	9,65	9,70
5	9,65	9,62	9,69	9,66	9,66	9,68
6	9,71	9,69	9,65	9,69	9,75	9,69
7	9,75	9,68	9,68	9,67	9,68	9,71
8	9,81	9,59	9,70	9,69	9,70	9,65
9	9,69	9,60	9,65	9,65	9,69	9,69
10	9,65	9,65	9,69	9,64	9,71	9,70
S.	97,26	96,16	96,54	96,68	96,78	97,07

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 96,74. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: +0,52
-0,58
-0,20
-0,06
+0,04
+0,33

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,58. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,64% (wenn 96,74=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,28, das entspricht 0,29%.

2. Nasospinale - Gnathion:

1	6,55	6,59	6,51	6,53	6,51	6,50
2	6,46	6,60	6,59	6,60	6,57	6,59
3	6,59	6,55	6,58	6,54	6,59	6,58
4	6,58	6,50	6,55	6,57	6,55	6,51
5	6,54	6,59	6,50	6,55	6,54	6,49
6	6,50	6,50	6,54	6,51	6,56	6,51
7	6,59	6,55	6,52	6,52	6,53	6,50
8	6,58	6,59	6,50	6,59	6,51	6,52
9	6,51	6,54	6,53	6,55	6,50	6,51
10	6,55	6,53	6,51	6,54	6,52	6,49
S.	65,50	65,54	65,33	65,50	65,38	65,20

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 65,40. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: +0,10
+0,14
-0,07
+0,10
-0,02
-0,20

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,20. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,30% (wenn 65,40=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,10, das entspricht 0,15%.

3. Schädelcalotte:

1	17,70	17,75	17,70	17,70	17,70	17,79
2	17,67	17,85	17,69	17,72	17,69	17,71
3	17,69	17,69	17,74	17,79	17,68	17,80
4	17,75	17,89	17,79	17,79	17,80	17,82
5	17,70	17,69	17,81	17,84	17,81	17,83
6	17,69	17,75	17,85	17,84	17,85	17,85
7	17,75	17,68	17,84	17,85	17,79	17,79
8	17,72	17,70	17,81	17,80	17,81	17,81
9	17,68	17,85	17,83	17,83	17,78	17,80
10	17,85	17,84	17,84	17,81	17,82	17,79
S.	177,20	177,69	177,90	177,97	177,73	177,99

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 177,74. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,54
-0,05
+0,16
+0,23
-0,01
+0,25

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,54. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,30% (wenn 177,74=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,20, das entspricht 0,11%.

4. Prosthion - Tuber maxillae:

1	5,85	5,85	5,85	5,95	5,71	5,79
2	5,90	5,95	5,79	5,81	5,78	5,75
3	5,79	5,79	5,78	5,75	5,75	5,81
4	5,75	5,71	5,87	5,87	5,85	5,85
5	5,74	5,82	5,88	5,88	5,79	5,87
6	5,75	5,75	5,86	5,80	5,83	5,80
7	5,81	5,79	5,80	5,86	5,87	5,81
8	5,79	5,81	5,86	5,85	5,85	5,85
9	5,76	5,87	5,85	5,87	5,80	5,83
10	5,85	5,85	5,85	5,85	5,86	5,87
S.	57,99	58,19	58,39	58,49	58,09	58,23

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 58,23. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit:

-0,24
-0,04
+0,16
+0,26
-0,14
±0

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,26. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,44% (wenn 58,23=100%). Die mittlere Abweichung beträgt 0,14, das entspricht 0,24%.

5. Prosthion - Gnathion:

1	4,97	4,75	4,90	4,88	4,86	4,97
2	4,95	4,85	4,91	4,92	4,89	4,92
3	4,81	4,90	4,89	4,91	4,90	4,95
4	4,90	4,99	4,95	4,89	4,99	4,99
5	4,94	4,95	4,99	4,93	4,98	4,98
6	4,91	4,89	4,97	4,97	4,98	5,00
7	4,89	4,94	4,95	5,00	5,00	4,95
8	4,92	4,91	5,00	5,01	5,01	4,99
9	4,90	4,95	4,93	4,95	4,99	4,99
10	4,99	4,99	4,97	4,99	5,01	4,98
S.	49,18	49,12	49,46	49,35	49,61	49,72

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 49,60. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,42
-0,48
-0,14
-0,25
+0,01
+0,12

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,48. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,98% (wenn 49,60=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,23, das entspricht 0,47%.

6. Prosthion - Processus mastoideus:

1	12,33	12,35	12,31	12,33	12,30	12,33
2	12,33	12,32	12,33	12,35	12,35	12,31
3	12,31	12,35	12,35	12,32	12,32	12,35
4	12,35	12,33	12,34	12,38	12,34	12,36
5	12,34	12,39	12,37	12,39	12,35	12,34
6	12,31	12,35	12,36	12,35	12,32	12,37
7	12,32	12,33	12,33	12,34	12,31	12,33
8	12,35	12,34	12,40	12,37	12,34	12,36
9	12,33	12,34	12,38	12,38	12,35	12,34
10	12,34	12,35	12,37	12,39	12,36	12,35
S.	123,31	123,45	123,54	123,60	123,34	123,44

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 123,44. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,13
+0,01
+0,10
+0,16
-0,10
±0

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,16. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,12% (wenn 123,44=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,08, das entspricht 0,06%.

7. Infradentale - Prosthion:

1	2,55	2,59	2,57	2,50	2,52	2,59
2	2,60	2,55	2,60	2,57	2,60	2,53
3	2,55	2,60	2,61	2,61	2,59	2,55
4	2,60	2,49	2,59	2,60	2,59	2,59
5	2,60	2,52	2,60	2,59	2,61	2,60
6	2,61	2,55	2,57	2,58	2,58	2,60
7	2,59	2,58	2,58	2,59	2,59	2,57
8	2,57	2,60	2,59	2,57	2,59	2,59
9	2,59	2,59	2,59	2,59	2,60	2,59
10	2,59	2,60	2,57	2,58	2,61	2,58
S.	25,85	25,67	25,87	25,78	25,88	25,79

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 25,80. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: +0,05
-0,13
+0,07
-0,02
+0,08
-0,01

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,13. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,50% (wenn 25,80=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,06, das entspricht 0,23%.

c) Diskussion

Die direkten Messungen am mazerierten Schädel sollen als Testmessungen dienen. Das heißt, es wird erwartet, daß bei ihnen die Fehlergröße möglichst klein ist. Bei der Betrachtung der Abweichungen vom Mittelwert ergibt sich als größte "größte Abweichung" ein Wert von 0,058. Das stimmt mit den Angaben von HASSELWANDER ungefähr überein, der sagt, daß die bei Messungen am Skelett auftretenden Fehler die Millimetergrenze manchmal übersteigen können, wobei zu beachten ist, daß es sich bei Skelettmessungen, z.B. am Becken, um größere Strecken handelt, als dies am Schädelskelett der Fall ist.
Die mittlere "mittlere Abweichung" vom Mittelwert ist entsprechend noch niedriger zu erwarten. Sie beträgt für alle Messungen am mazerierten Schädel 0,0145.
Das ist eine Abweichung, die für Messungen am Skelett klein sein dürfte.
Ein Vergleich der Meßergebnisse der Norma frontalis und Norma lateralis läßt bei direkten Messungen am Schädel keine großen Abweichungen erwarten. Die größte "größte Abweichung" in der Norma frontalis beträgt 0,053; die größte in der Norma lateralis 0,058. Die mittlere "mittlere Abweichung" in der Norma frontalis beträgt $0,01\overline{3}$ und in der Norma lateralis $0,01\overline{5}$.
Da es nicht ausreichend ist, nur die absolute Größe eines Fehlers, ohne seine numerische, relative Be - ziehung zur ausgemessenen Größe anzugeben, werden innerhalb dieser Arbeit die größten und mittleren

Abweichungen vom Mittelwert noch in Prozent des Mittelwertes der ausgemessenen Strecke ausgedrückt. Dabei ist zu erwarten, daß der prozentuale größte und mittlere Fehler bei kleinen Meßstrecken entsprechend größer sein wird als bei größeren. Dementsprechend ergibt sich für die größte Meßstrecke (Schädelcalotte) die größte prozentuale Abweichung von 0,3% und die mittlere prozentuale Abweichung von 0,11%. Für die kleinste Meßstrecke (Apertura piriformis) ergeben sich entsprechende Zahlen von 0,60% und 0,30%. Das bestätigt die obige Hypothese.

Der prozentuale Unterschied der mittleren "mittleren Abweichungen" der Norma frontalis und lateralis ergibt sich aus folgender Berechnung: Die Summe der mittleren Abweichungen in der Norma frontalis ist 0,080 und in der Norma lateralis 0,109. Um diese relativen Werte absolut vergleichbar zu machen ist es nötig, sie in Beziehung zur Länge der ausgemessenen Strecken zu bringen. Erst dann kann ein absoluter, in Prozent ausdrückbarer Vergleich angegeben werden. Dazu wird die Summe der Meßstrecken der Norma frontalis und lateralis ermittelt und beide werden auf einen Nenner gebracht. Dieser wird gleich 100 gesetzt und die mittleren Abweichungen in Prozent ausgedrückt. Das ergibt für die Norma frontalis eine mittlere Abweichung von 0,30 %, für die Norma lateralis von 0,18 %. Der Unterschied beträgt also nur 0,03%.

C) Röntgenologische Messungen.

1) Allgemeines

Bei röntgenologischen Messungen hat man sich mit zwei Phänomenen zu befassen, die eine metrische Abweichung des röntgenologischen Bildes vom abgebildeten Objekt bedingen. Das sind die Verzerrung und der individuelle Meßfehler. Letzterer tritt bei allen Messungen auf und kann durch statistische Methoden weitgehend reduziert werden.

Die nach den Gesetzen der optischen Abbildung entstehende Verzerrung des Röntgenbildes muß hingenommen werden. Sie entsteht dadurch, daß Objektpunkte in der Röntgenologie nicht durch parallele, sondern durch divergierende Strahlen abgebildet werden. Abb.10 Der Grad der Verzerrung ist abhängig vom Fokus - Objekt - Film -Abstand. Je weiter der Fokus vom Film entfernt ist, und je näher das Objekt dem Film ist, desto kleiner wird die Verzerrung und mit ihr der photogrammetrische Fehler. Diese Beziehung kann man in einer einfachen Formel ausdrücken, die sich aus dem Ähnlichkeitssatz von Dreiecken (Strahlensatz) ergibt (LEHMANN). Abb.11

Die Verzerrung ist also von drei Größen abhängig: Dem Fokus-Film-Abstand, dem Objekt-Film-Abstand und der Entfernung des Objektpunktes vom Zentralstrahl. (Der Fehler, der dadurch entsteht, daß mit einem Brennfleck und nicht mit einem mathematischen Brenn-

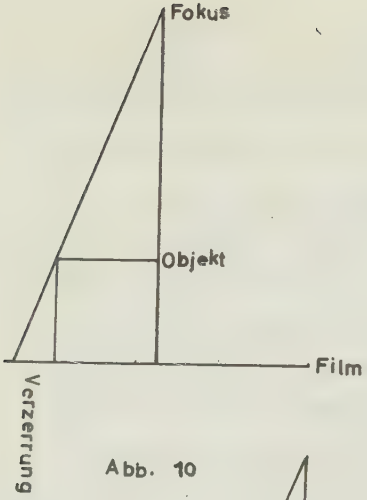
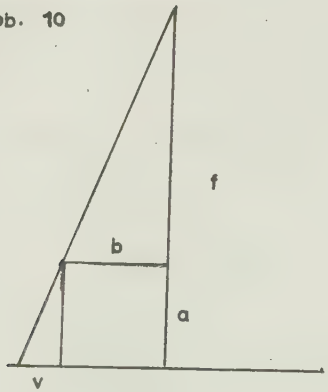


Abb. 10



$$\frac{v}{a} = \frac{b}{(f-a)}$$

$$v = \frac{b \cdot a}{(f-a)}$$

Abb. 11

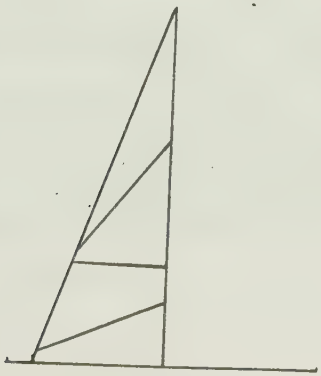


Abb. 12

punkt abgebildet wird, wodurch eine Randunschärfe entsteht, bleibt bei diesen Überlegungen außer Betracht. Er ist nach LEHMANN für Ausmessungen am Röntgenbild als unerheblich zu betrachten.)
Diese Beziehungen gelten für einen abgebildeten Objektpunkt bzw. für Strecken, die parallel zur Filmebene liegen. Sie werden jedoch wesentlich komplizierter bei der Untersuchung von Strecken innerhalb eines Objekts, die nicht auf einer vom Film überall gleichweit entfernten Ebene liegen. Bei solchen Strecken oder Flächen, deren einzelne Punkte vom Film ungleich weit entfernt sind, wird die Verzerrung weit komplexer. Zu der oben beschriebenen Vergrößerung kommt nämlich noch eine Veränderung hinzu, die dem optischen Abbildungsgesetz gehorcht, daß Körper, die nicht parallel zum Strahlengang und zur Abbildungsebene liegen je nach den Gegebenheiten vergrößert oder verkleinert abgebildet werden. Abb. 12
Die Verzerrung setzt sich also zusammen aus der durch den konvergierenden Verlauf der abbildenden Strahlen bedingten Veränderung und der, die dadurch zustande kommt, daß die abgebildeten Strecken nicht immer parallel zur Filmebene liegen. Dabei ist es möglich, das Verzerrungen mit umgekehrtem Vorzeichen entstehen, die sich teilweise aufheben. Das ist vor allem bei unseren Untersuchungen in der Norma lateralis der Fall.

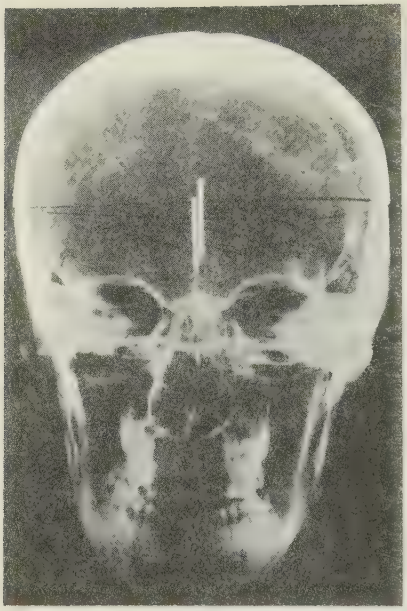
2) Fernröntgenologische Messungen, (Abb. 13 u. 14)

a) Methodik

Als Röntgenapparat wurde der Tridoros 6, ein Zwölfpulsgenerator der Firma Siemens - Reiniger - Werke AG benützt. Die Aufnahmen wurden mit einem Fokus - Filmabstand von 250 cm gemacht. Die Einstellung der Röhre betrug 60 KV /400 mA, die Belichtungszeit war 0,3 sec (Reg. 10), bwz. 50 KV/400mA, 0,3 sec (Reg.4). Die oben angeführten Strecken wurden von sechs Versuchspersonen mit der Schublehre mit Nonius auf zwei Dezimalstellen auf dem Ausleuchtungstisch ausgemessen. Von jeder Strecke sind je zehn Messungen zu zehn, durch einen Mindestabstand von zwei Stunden getrennten Zeitpunkten, durchgeführt worden.

b) Tabellarische Auswertung.

Am Fernröntgenbild sind von jeder Strecke sechzig Messungen durchgeführt worden (genau wie am mazerierten Schädel).
Für die Messungen jeder Versuchsperson ist der Mittelwert festgestellt worden. Außerdem wurde der Gesamtmittelwert aller Messungen errechnet.
Die größte und die mittlere Abweichung der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert wurde festgestellt und in Prozent ausgedrückt.
Auch hier werden die Ergebnisse aus den vierzehn Tabellen am Ende diskutiert.

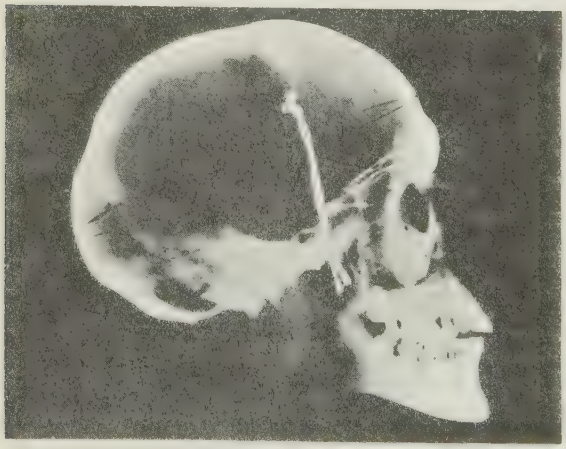


Fernröntgenaufnahmen

Norma frontalis

250 cm
60 KV
0,3 sec.
400 mA
Reg 10

Abb. 13



250 cm
50 KV
0,3 sec.
400 mA
Reg 4

Abb. 14

Norma lateralis

Messungen am Fernröntgenbild (Norma frontalis)

1. Zygionverbindungslinie: 10 Messungen von je 6 Versuchspersonen

1	14,29	14,41	14,39	14,40	14,39	14,34
2	14,40	14,40	14,37	14,39	14,36	14,39
3	14,37	14,39	14,36	14,38	14,37	14,38
4	14,35	14,40	14,35	14,41	14,38	14,37
5	14,37	14,38	14,39	14,40	14,39	14,38
6	14,36	14,37	14,36	14,37	14,40	14,39
7	14,33	14,35	14,39	14,41	14,37	14,37
8	14,35	14,39	14,38	14,40	14,39	14,38
9	14,34	14,38	14,40	14,40	14,37	14,39
10	14,35	14,37	14,35	14,39	14,39	14,37
S.	143,51	143,84	143,74	143,95	143,81	143,76

Der Mittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 143,76.
Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen:

-o,25
+0,08
-0,02
+0,19
+0,05
±0

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,25. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,17% (wenn 143,76 = 100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,09, das entspricht 0,06%.

2. Gonionverbindungslinie:

1	10,75	10,79	10,75	10,75	10,75	10,74
2	10,69	10,71	10,79	10,73	10,79	10,77
3	10,80	10,75	10,73	10,74	10,74	10,75
4	10,75	10,74	10,74	10,75	10,75	10,75
5	10,74	10,76	10,75	10,79	10,76	10,76
6	10,73	10,75	10,76	10,76	10,75	10,79
7	10,76	10,74	10,75	10,77	10,73	10.80
8	10,79	10,76	10,79	10,75	10,71	10,75
9	10,77	10,75	10,74	10,76	10,74	10,77
10	10,75	10,80	10,75	10,73	10,75	10,76
S.	107,53	107,55	107,55	107,53	107,47	107,64

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 107,54. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,01
+0,01
+0,01
-0,01
-0,07
+0,10

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,10. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,09% (wenn 107,54=100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,03, das entspricht 0,02%.

3. Verbindungslinie der Laterocranialpunkte:

1	9,69	9,63	9,59	9,75	9,61	9,60
2	9,71	9,70	9,69	9,70	9,65	9,65
3	9,65	9,69	9,65	9,69	9,69	9,61
4	9,72	9,65	9,70	9,68	9,60	9,66
5	9,71	9,64	9,60	9,71	9,66	9,67
6	9,70	9,63	9,65	9,67	9,64	9,65
7	9,69	9,61	9,59	9,68	9,63	9,64
8	9,64	9,64	9,70	9,65	9,65	9,66
9	9,61	9,69	9,71	9,59	9,64	9,61
10	9,65	9,67	9,65	9,70	9,61	9,63
S.	96,77	96,55	96,53	96,82	96,38	96,38

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 96,57. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,04
+0,25
+0,20
-0,02
-0,19
-0,19

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,25. Das entspricht einem prozentualen Anteil von o,25% (wenn 96,57 = 100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,14, das entspricht 0,14%.

4. Apertura piriformis:

1	3,30	3,37	3,32	3,31	3,34	3,30
2	3,38	3,35	3,34	3,32	3,33	3,30
3	3,31	3,31	3,33	3,35	3,33	3,31
4	3,30	3,32	3,35	3,34	3,36	3,34
5	3,32	3,34	3,31	3,32	3,30	3,30
6	3,34	3,30	3,32	3,31	3,35	3,32
7	3,31	3,33	3,30	3,31	3,32	3,35
8	3,32	3,32	3,32	3,32	3,33	3,32
9	3,35	3,35	3,33	3,34	3,31	3,33
10	3,31	3,34	3,35	3,35	3,32	3,31
S.	33,24	33,33	33,27	33,27	33,29	33,18

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 33,26. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,02
+0,07
+0,01
+0,01
+0,03
-0,08

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,08. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,24%. (wenn 33,26 = 100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,03, das entspricht 0,09%.

5. Oberkiefer:

1	6,03	6,05	6,07	6,06	6,07	6,05
2	6,05	6,06	6,07	6,07	6,05	6,07
3	6,05	6,06	6,08	6,08	6,07	6,06
4	6,07	6,05	6,06	6,05	6,08	6,05
5	6,06	6,03	6,05	6,06	6,06	6,07
6	6,01	6,01	6,07	6,07	6,04	6,05
7	6,05	6,06	6,07	6,04	6,07	6,07
8	6,06	6,06	6,04	6,07	6,03	6,05
9	6,06	6,04	6,05	6,09	6,06	6,07
10	6,07	6,05	6,07	6,08	6,07	6,04
S.	60,51	60,47	60,63	60,67	60,60	60,58

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 60,57. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit:

-0,06
-0,10
+0,06
+0,10
+0,03
+0,01

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,10. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,16% (wenn 60,57 = 100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,06, das entspricht 0,09%.

6. Bimolarlinie:

1	5,40	5,39	5,34	5,34	5,29	5,35
2	5,32	5,36	5,35	5,35	5,33	5,33
3	5,30	5,37	5,37	5,33	5,34	5,34
4	5,37	5,38	5,38	5,36	5,33	5,36
5	5,36	5,36	5,37	5,37	5,32	5,32
6	5,39	5,40	5,35	5,34	5,31	5,33
7	5,36	5,39	5,36	5,35	5,30	5,34
8	5,38	5,37	5,37	5,36	5,32	5,32
9	5,35	5,36	5,36	5,33	5,35	5,30
0	5,37	5,38	5,37	5,34	5,34	5,34
S.	53,60	53,76	53,62	53,47	53,23	53,33

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 53,50. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit:

+0,10
+0,26
+0,12
-0,03
-0,27
-0,17

Die größte Abweichung beträgt demnach - 0,27. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,31% (wenn 53,50 = 100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,15, das entspricht 0,28%.

7. Schädelcalotte:

1	15,20	15,21	15,22	15,23	15,23	15,25
2	15,19	15,20	15,22	15,21	15,22	15,24
3	14,99	15,23	15,23	15,24	15,21	15,23
4	15,23	15,22	15,20	15,20	15,22	15,26
5	15,21	15,23	15,21	15,23	15,19	15,24
6	15,23	15,21	15,22	15,19	15,23	15,23
7	15,22	15,23	15,20	15,22	15,22	15,21
8	15,20	15,19	15,19	15,21	15,23	15,23
9	15,24	15,24	15,23	15,23	15,24	15,22
10	15,20	15,22	15,22	15,23	15,23	15,20
S.	151,91	152,18	152,14	152,19	152,22	152,22

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 152,15. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,24
+0,03
+0,07
+0,26
-0,01
+0,04

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,26. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,17% (wenn 152,15 = 100%). Die mittlere Abweichung beträgt 0,10, das entspricht 0,06%.

Messungen am Fernröntgenbild (Norma lateralis)

1. Gnathion - Gonion - Verbindungslinie

1	9,30	9,23	9,40	9,44	9,31	9,25
2	9,28	9,25	9,42	9,31	9,30	9,21
3	9,19	9,20	9,30	9,29	9,25	9,24
4	9,31	9,23	9,26	9,30	9,35	9,20
5	9,23	9,23	9,25	9,28	9,29	9,26
6	9,25	9,21	9,31	9,31	9,26	9,21
7	9,20	9,22	9,24	9,29	9,25	9,20
8	9,28	9,26	9,27	9,26	9,24	9,26
9	9,19	9,25	9,26	9,25	9,29	9,25
10	9,20	9,24	9,25	9,25	9,30	9,24
S.	92,43	92,32	92,96	92,98	92,84	92,32

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 92,68. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,36
-0,25
+0,28
+0,30
+0,16
-0,36

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,36. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,38% (wenn 92,68 = 100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,28, das entspricht 0,30%.

2. Nasospinale - Gnathion:

1	7,00	6,99	6,99	7,01	7,05	6,99
2	6,87	7,01	7,01	7,01	7,02	6,98
3	6,94	6,99	7,04	6,99	7,00	7,00
4	7,05	6,98	7,02	7,01	7,10	7,01
5	6,99	7,00	7,00	7,00	6,99	7,02
6	6,98	7,04	7,00	7,03	6,98	7,00
7	7,01	7,01	6,99	7,04	7,04	6,99
8	7,00	7,10	7,01	7,01	7,06	6,99
9	7,00	6,99	7,03	7,02	7,05	7,01
10	7,01	6,99	7,02	7,03	7,10	7,00
S.	69,85	70,10	70,11	70,15	70,39	69,99

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 70,09. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,24
+0,01
+0,02
+0,04
+0,30
-0,10

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,30. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,42% (wenn 70,09 = 100%). Die mittlere Abweichung beträgt 0,11, das entspricht 0,15%.

3. Schädelcalotte:

1	18,40	18,45	18,51	18,41	18,50	18,46
2	18,31	18,42	18,39	18,40	18,48	18,44
3	18,41	18,43	18,45	18,39	18,46	18,45
4	18,43	18,41	18,41	18,45	18,51	18,46
5	18,45	18,50	18,50	18,46	18,44	18,49
6	18,44	18,46	18,40	18,42	18,45	18,43
7	18,41	18,44	18,39	18,44	18,43	18,44
8	18,40	18,43	18,50	18,44	18,44	18,50
9	18,39	18,41	18,49	18,43	18,41	18,51
10	18,42	18,44	18,48	18,40	18,45	18,48
S.	184,06	184,39	184,52	184,24	184,57	184,66

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 184,60. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,54
-0,21
-0,08
-0,36
-0,03
+0,06

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,54. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,29% (wenn 184,60 = 100%). Die mittlere Abweichung beträgt 0,21, das entspricht 0,11%.

4. Prosthion - Tuber maxillae:

1	5,71	5,87	5,90	5,79	5,83	5,87
2	5,90	5,85	5,80	5,83	5,81	5,87
3	5,81	5,90	5,81	5,81	5,80	5,85
4	5,77	5,89	5,82	5,82	5,81	5,83
5	5,78	5,88	5,79	5,82	5,84	5,80
6	5,76	5,89	5,85	5,89	5,81	5,86
7	5,70	5,91	5,86	5,85	5,80	5,81
8	5,79	5,90	5,87	5,86	5,85	5,83
9	5,81	5,89	5,90	5,81	5,90	5,81
10	5,81	5,90	5,91	5,80	5,86	5,80
S.	57,84	58,88	58,51	58,28	58,31	58,33

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 58,52. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: +0,32
+0,36
-0,01
-0,28
-0,21
-0,19

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,36. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,61% (wenn 58,52 = 100%). Die mittlere Abweichung beträgt 0,22, das entspricht 0,37%.

5. Prosthion - Gnathion:

1	5,35	5,50	5,47	5,48	5,43	5,42
2	5,50	5,49	5,50	5,48	5,40	5,43
3	5,41	5,50	5,46	5,50	5,41	5,49
4	5,44	5,48	5,44	5,45	5,39	5,50
5	5,43	5,47	5,50	5,47	5,44	5,45
6	5,46	5,46	5,50	5,48	5,42	5,44
7	5,47	5,45	5,48	5,49	5,41	5,46
8	5,46	5,44	5,47	5,49	5,44	5,42
9	5,45	5,45	5,50	5,50	5,42	5,43
10	5,45	5,50	5,49	5,45	5,42	5,50
S.	54,42	54,74	54,81	54,79	54,18	54,54

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 54,58. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,16
+0,16
+0,23
+0,21
-0,40
-0,04

Die größte Abweichung beträgt demnach - 0,40. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,73% (wenn 54,58 = 100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,20, das entspricht 0,36%.

6. Prosthion - Processus mastoideus:

1	12,30	12,05	12,11	12,10	12,09	12,09
2	12,25	12,21	12,15	12,15	12,10	12,11
3	12,10	12,15	12,19	12,09	12,10	12,11
4	12,05	12,20	12,20	12,10	12,15	12,14
5	12,21	12,09	12,09	12,13	12,16	12,13
6	12,30	12,15	12,21	12,15	12,11	12,16
7	12,00	12,12	12,12	12,10	12,13	12,15
8	12,25	12,20	12,20	12,17	12,20	12,11
9	12,20	12,21	12,18	12,18	12,19	12,09
10	12,19	12,09	12,16	12,10	12,15	12,10
S.	121,85	121,47	121,61	121,27	121,38	121,19

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 121,46. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: +0,39
+0,01
+0,15
-0,19
-0,08
-0,27

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,39. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 0,32% (wenn 121,46 = 100%).
Die mittlere Abweichung beträgt 0,18, das entspricht 0,14%.

7. Infradentale - Prosthion:

1	2,55	2,67	2,61	2,63	2,69	2,67
2	2,57	2,63	2,65	2,61	2,67	2,68
3	2,60	2,61	2,60	2,64	2,68	2,65
4	2,65	2,60	2,62	2,68	2,69	2,61
5	2,67	2,66	2,61	2,67	2,67	2,66
6	2,59	2,60	2,60	2,67	2,63	2,67
7	2,60	2,61	2,59	2,61	2,67	2,67
8	2,64	2,65	2,68	2,63	2,64	2,69
9	2,63	2,61	2,65	2,66	2,65	2,70
10	2,67	2,64	2,62	2,65	2,65	2,69
S.	26,17	26,28	26,23	26,45	26,64	26,69

Der Gesamtmittelwert für die 6 Versuchspersonen beträgt 26,41. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert betragen somit: -0,24

-0,13

-0,18

+0,04

+0,23

+0,28

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,28. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 1,06% (wenn 26,41 = 100%). Die mittlere Abweichung beträgt 0,18, das entspricht 0,68%.

c) Diskussion

Die Meßergebnisse am Fernröntgenbild unterscheiden sich von denen am mazerierten Schädel durch die Verzerrung. Nach den oben beschriebenen Gestzen muß diese sich in der Norma frontalis mit ihren zur Filmebene parallel verlaufenden Meßstrecken anders auswirken, als in der Norma lateralis, in der manche Strecken von der Filmebene verschieden weit entfernte Endpunkte haben. Unsere Ergebnisse zeigen, daß die Verzerrung am Fernröntgenbild mit einem Fokus-Film-Abstand von 250 cm noch recht beträchtlich ist. Diese Feststellung entspricht nicht ganz der Meinung einiger Autoren (JUNG, NAWRATH, KORKHAUS, u.a.) Sie sind der Meinung, daß durch die Fernröntgenmethode die Verzerrung weitgehend reduziert werde.

Wir haben für die Messungen der Norma frontalis eine ausgemessene Gesamtstrecke von 55,05 erhalten. Diese ist 3,47 größer als die entsprechende Strecke am mazerierten Schädel. Das entspricht einer Verzerrung von 6,72%, wenn man die Gesamtstrecke der Messungen in der Norma frontalis am Schädel gleich hundert setzt. Die Verzerrung ist in diesem Fall eine positive, d.h. es ist zu einer Vergrößerung gekommen.

Bei den fernröntgenologischen Messungen in der Norma lateralis ergibt sich eine ausgemessene Gesamtstrecke von 60,8. Sie ist nur um 1,12 größer

als die entsprechende Strecke am Schädel. Die Verzerrung erscheint in der Norma lateralis damit kleiner. Dieses Ergebnis trügt jedoch, da sich die Zahl aus positiven Verzerrungen(Vergrößerungen) von Strekken, die der Filmebene parallel liegen und negativen Verzerrungen (Verkleinerungen) von solchen Strecken zusammensetzt, deren Endpunkte von der Filmebene verschieden weit entfernt sind. Vergleicht man nämlich das Ergebnis von Meßstrecken der Norma lateralis, die der Filmebene parallel liegen mit den Ergebnissen der Norma frontalis, so ergibt sich eine ungefähr gleich große Verzerrung. Es besteht also auch bei fernröntgenologischen Aufnehmen eine beträchtliche Verzerrung, die je nach den ausgemessenen Details aus den beschriebenen Grümden in ihrem Ergebnis größer oder kleiner ausfällt. Man muß sich hüten, die gegenseitige Aufhebung von Verzerrungen mit umgekehrtem Vorzeichen falsch zu werten.

Neben der Verzerrung wird der Meßfehler bei fernröntgenologischen Aufnahmen geprüft. Er sollte sich in seinem statistischen Mittelwert nicht wesentlich von dem am mazerierten Schädel unterscheiden, da die Bestimmung von Meßpunkten am Fernröntgenbild nicht schwieriger sein sollte als am Skelett. Für die größte Abweichung in der Norma frontalis ergibt sich 0,027; in der Norma lateralis 0,054. Die Summe der mittleren Abweichungen in der Norma frontalis ergibt 0,060; in der Norma lateralis 0,138. Diese Zahlen wer-

den nach der gleichen Methode wie die entsprechenden beim mazerierten Schädel auf Prozent umgerechnet. Es ergibt sich für die Norma frontalis ein mittlerer Fehler von 0,09% (Schädel 0,08%) und in der Norma lateralis von 0,22% (Schädel 0,18). Das entspricht in der Norma frontalis fast genau den Ergebnissen über die Fehlergröße beim direkten Messen am Schädel. Der kleine Unterschied in der Fehler größe zwischen Norma frontalis und lateralis von 0,13% (gegenüber nur 0,03% am Schädel) kommt daher zustande, daß in der Norma lateralis beim Fernröntgenbild beide Hälften des Schädels übereinander projeziert werden, was die Bestimmung der Punkte erschwert.

4) Röntgenstereoskopische Messungen. (Abb. 15 u. 16)

a) Methodik

Als Röntgenapparat wurde dasselbe Gerät wie für die Fernröntgenaufnahmen verwendet. Der Fokus - Film - Abstand betrug 70 cm. Die Bleikreuze über den Kassetten wurden auf den Pupillenabstand 60 mm eingestellt. In der Norma frontalis wurde die Röhre bei einer Belichtungszeit von 0,16 sec mit 52 kV / 150 mA (Reg. 4), in der Norma lateralis bei einer Belichtungszeit von 0,1 sec mit 46 kV und 150 mA belastet.
Die Auswertung der röntgenstereoskopischen Halbbilder erfolgte am oben beschriebenen Stereoskiagraph nach HASSELWANDER. Die Einstellung dieses Gerätes für die optimale metrische Auswertung wurde mit den bei der Aufnahme der Röntgenfilme eingestellten Werten abgestimmt. Das heißt, die Abstände der Bildschirme vom Stereookular wurden auf je 70 cm justiert; die Markierungen auf den Bildschirmen wurden mit den Kreuzen im Röntgenbild zur Dekkung gebracht; das Stereookular wurde auf einen Pupillenabstand von 6 cm eingestellt.

b) Tabellarische Auswertung.

Die tabellarische Auswertung erfolgte nach dem gleichen Schema wie die bei den fernröntgenologischen Aufnahmen.
Die Ergebnisse werden gleichfalls am Ende der Tabellen diskutiert.

Stereoaufnahmen

Norma frontalis

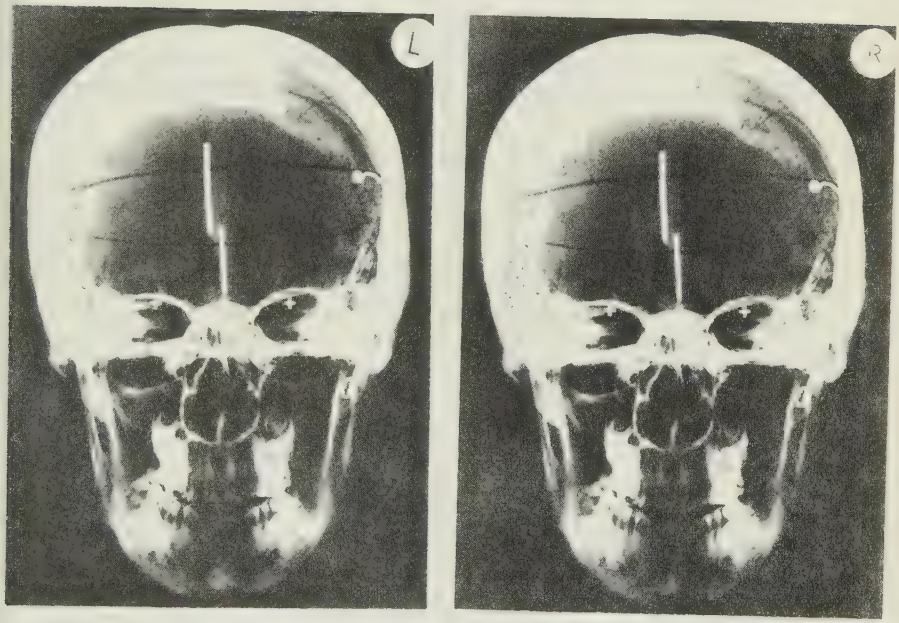


Abb. 15

70 cm
52 KV
0,16 sec.
150 mA
Reg 4

Stereoskopische Messungen (Norma frontalis)

1. Zygionverbindungslinie:

1	15,61	15,38	15,11	15,98	16,02	15,12
2	14,89	15,49	14,99	16,88	17,18	16,98
3	15,32	15,64	14,98	15,62	15,35	16,78
4	14,99	16,11	15,82	15,38	15,75	15,43
5	15,30	15,96	14,13	15,99	15,10	16,24
6	15,28	15,53	14,97	16,54	14,86	16,68
7	15,76	15,81	15,46	15,48	15,60	15,72
8	15,60	15,70	14,94	16,82	16,28	15,51
9	15,54	15,63	15,22	15,55	16,00	16,99
10	15,18	16,12	14,12	16,79	15,98	16,27
S.	153,47	157,37	149,74	161,03	158,12	161,72

Der Gesamtmittelwert beträgt 15,68. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: -0,54
+0,05
-0,71
+0,42
+0,13
+0,49

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,71. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 4,52% (wenn 15,68 = 100).
Die mittlere Abweichung ist 0,39, das entspricht 2,48%.

2. Gonionverbindungslinie:

1	12,39	12,12	12,89	12,45	12,62	12,55
2	12,68	13,60	11,99	13,75	11,80	12,48
3	12,91	12,98	12,11	12,89	11,29	12,64
4	12,12	13,18	11,84	13,11	12,11	12,12
5	12,55	12,54	12,26	12,90	12,32	12,75
6	12,75	13,42	12,44	12,55	11,88	12,61
7	12,64	12,88	11,54	13,15	12,01	12,25
8	12,16	13,40	11,88	13,81	12,22	12,38
9	12,85	12,75	12,21	12,99	11,78	12,22
10	12,15	12,55	11,99	13,40	11,65	12,85
S.	125,20	129,42	121,15	131,00	119,68	124,85

Der Gesamtmittelwert beträgt 12,51. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: +0,01
+0,42
-0,21
+0,58
-0,56
-0,04

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,58. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 4,63% (wenn 12,51 = 100%). Die mittlere Abweichung ist 0,30, das entspricht 2,39%.

3. Verbindungslinie der Laterocranialpunkte:

1	9,91	9,81	9,10	9,65	9,42	9,28
2	10,10	8,88	10,23	9,25	10,21	9,99
3	10,51	9,12	9,75	9,81	10,35	10,45
4	9,85	8,75	9,81	9,11	9,89	10,53
5	10,01	9,23	9,99	10,25	10,21	10,27
6	9,99	8,47	10,07	9,13	9,45	9,89
7	9,75	8,97	10,35	9,99	9,88	10,81
8	10,25	9,12	9,83	9,01	10,22	9,98
9	9,88	8,51	10,27	9,22	9,35	10,72
10	10,36	9,49	10,54	9,04	10,75	9,98
S.	100,61	90,35	99,94	94,46	108,73	95,90

Der Gesamtmittelwert beträgt 9,79. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: +0,27
-0,76
+0,20
-0,35
+1,08
-0,20

Die größte Abweichung beträgt demnach +1,08. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 11,03% (wenn 9,79 = 100%). Die mittlere Abweichung ist 0,47, das entspricht 4,80%.

4. Apertura piriformis:

1	3,51	3,21	3,60	3,41	3,52	3,19
2	3,69	3,49	3,38	3,52	3,28	3,92
3	3,48	3,75	3,76	3,78	3,34	3,76
4	3,72	3,20	3,11	3,22	3,12	3,54
5	3,14	3,58	3,79	3,55	3,45	3,68
6	3,66	3,62	3,55	3,85	3,05	3,72
7	3,98	3,55	3,85	3,87	3,36	3,81
8	3,12	3,51	3,13	3,90	3,24	3,29
9	3,47	3,93	3,67	3,28	3,51	3,88
10	3,13	3,47	3,28	3,42	3,19	3,92
S.	34,90	35,29	35,12	35,80	33,06	36,71

Der Gesamtmittelwert beträgt 3,51. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: -0,02
+0,01
± 0
+0,07
-0,21
+0,16

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,21. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 5,98% (wenn 3,51 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,07, das entspricht 1,99%.

5. Oberkiefer:

1	7,61	7,81	7,73	7,59	7,68	7,45
2	7,32	7,68	7,99	7,28	7,60	6,75
3	7,45	7,59	8,00	7,31	7,71	6,80
4	7,81	7,77	7,63	7,42	7,53	7,34
5	7,12	7,43	7,87	6,80	7,48	7,18
6	7,19	7,82	7,64	7,19	7,82	7,25
7	7,81	7,64	7,92	7,21	7,35	7,32
8	7,78	7,86	7,81	7,35	7,95	7,18
9	7,62	7,92	7,99	7,40	7,52	7,29
10	7,57	7,98	7,72	7,12	7,50	7,11
S.	75,26	77,50	78,31	72,67	76,14	71,67

Der Gesamtmittelwert beträgt 7,52. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: ± 0

+0,23
+0,31
-0,26
+0,09
-0,36

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,36. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 4,80% (wenn 7,52 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,20, das entspricht 2,66%.

6. Bimolarlinie:

1	6,41	6,28	6,50	6,35	6,48	6,27
2	6,38	6,12	6,21	6,22	5,59	6,18
3	6,52	6,33	6,01	6,10	6,18	5,48
4	6,99	6,71	6,13	6,08	6,20	6,32
5	6,95	6,19	6,25	6,25	6,23	6,07
6	6,75	6,44	6,43	6,13	6,11	6,10
7	6,81	6,82	6,17	6,27	6,29	5,43
8	6,52	6,11	6,33	6,31	6,22	6,22
9	6,48	6,28	6,24	5,19	6,17	6,18
10	6,92	6,30	6,08	5,12	6,03	6,16
S.	66,83	63,58	62,35	60,02	61,60	60,41

Der Gesamtmittelwert beträgt 6,24. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: +0,44

+0,11
-0,01
-0,24
-0,08
-0,20

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,44. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 7,05% (wenn 6,24 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,18, das entspricht 2,88%.

7. Schädelcalotte:

1	17,43	17,48	17,51	17,18	17,30	17,28
2	17,58	17,50	17,21	17,26	17,48	17,01
3	17,92	17,63	17,18	17,34	17,65	17,13
4	17,32	17,67	17,30	17,15	17,73	17,07
5	17,17	17,39	17,02	17,42	17,58	17,22
6	17,44	17,91	17,13	17,33	17,63	17,18
7	17,26	17,54	17,22	17,19	17,73	17,00
8	17,23	17,48	17,09	17,01	17,80	17,31
9	17,55	17,63	17,31	17,25	17,37	17,19
10	17,15	17,92	17,20	16,51	17,25	16,11
S.	174,05	176,15	171,87	171,64	175,52	170,50

Der Gesamtmittelwert beträgt 17,32. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: -0,12
+0,29
-0,14
-0,16
+0,23
-0,27

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,29. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 1,66% (wenn 17,32 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,20, das entspricht 1,15%.

Stereoaufnahmen

Norma lateralis

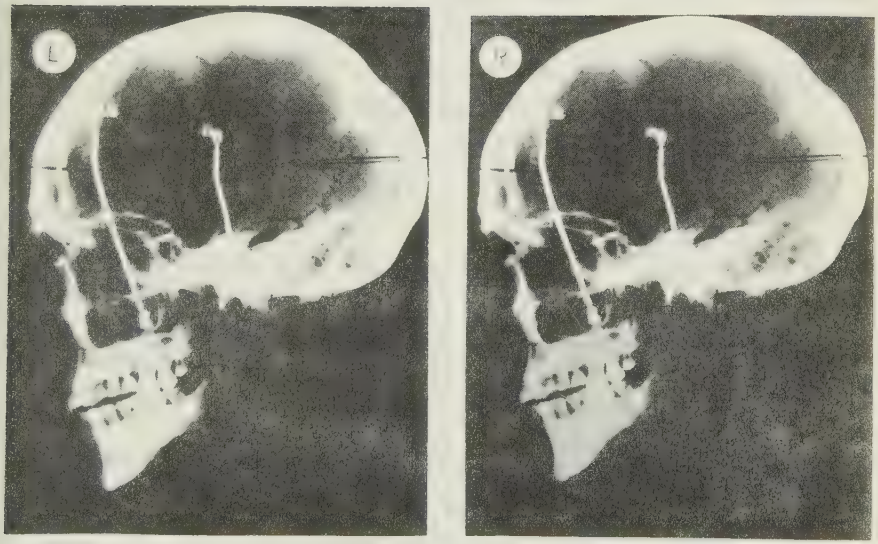


Abb. 16

70 cm

46 KV

0,1 sec.

150 mA

Reg 4

Stereoskopische Messungen (Norma lateralis)

1. Gnathion - Gonion - Verbindungslinie:

1	11,55	10,34	10,68	11,71	9,24	9,19
2	10,38	10,73	10,99	11,63	10,01	9,01
3	10,62	10,81	11,34	11,55	9,20	9,22
4	11,45	10,94	11,01	10,89	10,13	9,10
5	11,71	10,45	10,89	10,63	10,07	9,99
6	11,39	10,51	10,72	11,57	9,49	9,17
7	11,46	10,63	10,98	11,28	10,12	9,93
8	11,34	10,77	11,05	11,72	9,48	9,02
9	10,50	10,83	10,75	11,98	10,15	9,98
10	10,31	10,91	10,88	10,90	9,95	9,89
S.	110,71	106,92	109,29	111,86	97,84	94,50

Der Gesamtmittelwert beträgt 10,54. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: -0,53

-0,15
+0,38
+0,84
-0,76
-1,05

Die größte Abweichung beträgt demnach -1,05. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 9,10% (wenn 10,54 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,61, das entspricht 5,78%.

2. Nasospinale - Gnathion:

1	9,65	9,53	9,48	9,76	9,60	9,57
2	9,34	9,41	9,75	9,25	10,21	10,00
3	9,76	9,67	9,81	9,30	9,98	10,03
4	9,25	9,19	9,99	9,61	9,85	9,21
5	9,81	9,81	9,61	9,18	9,72	9,19
6	9,63	9,62	9,72	9,22	9,18	9,09
7	9,77	9,48	9,83	9,35	10,28	9,13
8	9,51	9,52	9,79	9,07	9,75	9,15
9	10,49	9,27	9,91	9,33	9,99	9,24
10	9,42	9,90	9,68	9,25	10,11	10,01
S.	96,63	95,40	97,57	93,32	98,67	94,62

Der Gesamtmittelwert beträgt 9,60. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: +0,06
-0,06
+0,15
-0,27
+0,26
-0,14

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,27. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 2,81%.(wenn 9,60 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,15, das entspricht 1,56%.

3. Schädelcalotte:

1	20,45	20,83	20,60	20,04	20,98	20,75
2	20,18	20,91	20,79	19,99	20,75	19,99
3	20,60	20,98	20,51	20,01	21,22	20,20
4	20,32	30,00	20,63	20,12	21,08	19,89
5	20,48	20,77	20,84	20,09	20,83	20,21
6	20,51	20,93	20,96	20,18	20,97	19,81
7	20,27	20,70	20,77	20,22	21,18	20,03
8	20,63	20,81	20,59	20,13	20,65	20,14
9	20,50	20,86	20,90	19,97	21,20	20,07
10	20,42	20,78	20,68	19,95	20,95	19,33
S.	204,36	216,97	207,27	200,70	209,81	200,42

Der Gesamtmittelwert beträgt 20,65. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: -0,22
+1,04
+0,07
-0,58
+0,33
-0,61

Die größte Abweichung beträgt demnach +1,04. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 5,03%. (wenn 20,65 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,47, das entspricht 2,27%.

4. Prosthion - Tuber maxillae:

1	6,82	6,12	6,95	7,12	6,09	7,77
2	6,90	6,02	7,00	7,00	5,85	7,80
3	6,78	5,98	6,81	7,23	6,11	7,53
4	6,85	6,25	6,93	6,87	5,79	7,09
5	6,68	5,99	6,77	6,94	5,83	6,92
6	6,92	5,85	7,29	7,15	5,17	7,89
7	7,58	6,07	6,55	6,85	5,94	7,78
8	6,95	6,03	6,85	7,28	5,96	7,20
9	7,84	5,91	6,94	6,99	6,28	7,13
10	6,68	5,05	7,16	7,01	5,71	7,97
S.	70,00	59,27	69,25	70,44	58,73	75,08

Der Gesamtmittelwert beträgt 6,70. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: +0,30
-0,78
+0,22
+0,34
-0,83
+0,80

Die größte Abweichung beträgt demnach -0,83. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 12,38% (wenn 6,70 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,54, das entspricht 8,06%.

5. Prosthion - Gnathion:

1	6,12	6,23	5,99	6,43	5,85	6,01
2	6,25	6,34	6,11	6,47	5,93	6,13
3	6,08	6,17	6,23	6,88	5,98	6,24
4	6,32	6,44	6,07	6,92	6,12	6,08
5	6,15	6,24	5,97	6,65	6,17	6,15
6	6,12	6,13	6,14	6,38	5,91	5,95
7	6,28	6,37	6,26	6,59	6,15	6,22
8	6,35	6,50	5,98	6,71	5,99	6,31
9	6,14	6,15	6,09	6,85	6,14	5,87
10	6,06	6,16	6,20	6,66	5,84	5,99
S.	61,87	62,73	61,04	66,54	60,08	60,95

Der Gesamtmittelwert beträgt 6,21. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: -0,03
+0,06
-0,11
+0,44
-0,21
-0,12

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,44. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 7,09% (wenn 6,21 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,16, das entspricht 2,57%.

6. Prosthion - Processus mastoideus:

1	13,28	13,02	14,54	13,80	12,98	12,18
2	13,14	12,99	13,82	15,21	12,82	12,70
3	12,25	12,98	13,91	13,95	12,97	12,75
4	13,17	13,13	14,66	14,72	13,13	12,13
5	12,33	13,09	14,59	13,81	13,22	12,07
6	13,12	12,87	14,72	14,39	11,75	11,92
7	12,42	13,10	13,88	15,07	12,15	12,85
8	13,08	13,16	14,47	14,93	12,96	11,96
9	12,24	12,94	13,93	14,88	12,94	12,14
10	13,15	12,95	14,75	14,15	13,01	12,91
S.	128,18	130,21	143,27	144,91	127,93	123,61

Der Gesamtmittelwert beträgt 13,29. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: -0,48
-0,27
+1,03
+1,20
-0,50
-0,93

Die größte Abweichung beträgt demnach +1,20. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 9,02% (wenn 13,29 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,73, das entspricht 5,49%.

7. Infradentale - Prosthion:

1	3,21	3,42	3,18	3,52	3,09	3,51
2	3,31	3,35	3,09	2,91	2,99	3,41
3	3,19	3,72	3,21	3,68	2,81	3,29
4	3,25	3,28	3,16	3,72	3,10	3,16
5	3,26	3,65	3,04	2,95	3,15	3,13
6	3,81	3,68	3,23	3,85	2,95	3,24
7	3,14	3,59	3,37	3,79	3,12	3,17
8	3,17	3,41	3,13	3,67	3,98	3,08
9	3,23	3,57	3,08	3,83	3,07	3,32
10	3,15	3,63	3,12	3,64	3,93	3,19
S.	32,72	35,30	31,61	35,56	32,19	32,50

Der Gesamtmittelwert beträgt 3,32. Die Abweichungen der einzelnen Mittelwerte vom Gesamtmittelwert sind somit: -0,05
+0,21
-0,16
+0,23
-0,11
-0,07

Die größte Abweichung beträgt demnach +0,23. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 6,92% (wenn 3,32 = 100%).
Die mittlere Abweichung ist 0,13, das entspricht 3,91%.

c) Diskussion

Die optische Verzerrung (bei den vorliegenden Aufnahmen handelt es sich stets um nach den gleichen abbildungstechnischen Gesetzen erfolgende Vergrößerungen) der röntgenstereoskopischen Aufnahmen gegenüber den Messungen am mazerierten Schädel und Messungen an Fernröntgenaufnahmen ist entsprechend dem kleinen Fokus-Film-Abstand von 70 cm größer zu erwarten. Auch hier wird die Verzerrung in der Norma frontalis, wie bei den fernröntgenologischen Messungen, als Vergrößerung in Erscheinung treten. In der Norma lateralis dagegen wird es aus den beschriebenen Ursachen zu einer positiven und teilweise auch negativen Verzerrung mit gegenseitiger teilweiser Aufhebung kommen.

In der Norma frontalis ergab sich eine ausgemessene Gesamtstrecke von 62,78. Das entspricht einer Verzerrung gegenüber den Werten der direkten Schädelmessungen von 11,20; das sind 21,7%. Der geringere Fokus-Film-Abstand von 70 cm gegenüber 250 cm beim fernröntgenologischen Verfahren bedingt also eine Erhöhung der Verzerrung um 15%. Für die Norma lateralis ergibt sich eine Gesamtstrecke von 70,31. Das entspricht einer Verzerrung gegenüber den Schädelmessungen von 10,63; das sind 17,89%. Diese Zahl ist sehr interessant, wenn man sie mit den entsprechenden Werten der fernröntgenologischen Messungen vergleicht. Bei diesen wurde der Wert der Verzerrung in der Norma lateralis durch die gegenseitige Aufhebung von positiven und negativen Größen sehr klein.

Bei den Ausmessungen

im Raumbild scheint dies nicht der Fall zu sein. Das spricht dafür, daß die negative Verzerrung von Strecken mit von der Filmebene verschieden weit entfernten Endpunkten beim röntgenstereoskopischen Auswertungsverfahren nicht in dem Maße auftritt, weil die Auflösung ins Räumliche eine genauere Ausmessung zuläßt. Allerdings sind die dabei gewonnenen Werte mit Vorsicht zu verwerten, wie die nachfolgende Meßfehlerauswertung zeigen wird. Der Fehler ist bei Messungen in der Norma lateralis am stereoskopischen Röntgenbild nämlich sehr hoch.

Der Meßfehler bei den röntgenstereoskopischen Untersuchungen ist erwartungsgemäß der höchste bei den drei ausgewerteten Verfahren. Der Grund dafür ist wohl vor allem der oben erwähnte Ermüdungsvorgang, der das räumliche Sehen des Röntgenbildes beeinträchtigt und die individuell schwankende Fähigkeit des räumlichen Sehens überhaupt. Als größte mittlere Abweichung in der Norma frontalis ergab sich 0,76 ; in der Norma lateralis sogar 1,20. Die Summe der mittleren Abweichungen der Norma frontalis ergibt 1,81 ; in der Norma lateralis sogar 2,79. Das entspricht 2,49 % in der Norma frontalis (gegenüber 0,08% am Schädel und 0,09% am Fernröntgenbild) und 3,84 % in der Norma lateralis (gegenüber 0,18% am Schädel und 0,22% am Fernröntgenbild). Das ist ein erheblich größerer mittlerer Fehler. Vor allem der der große Wert in der Norma lateralis fällt auf. Er kommt wohl dadurch zustande, daß es

bei der Fülle sich überlagernder Punkte beider Schädelhälften sehr schwer ist, die Auflösung derselben ins Räumliche genau zu vollziehen, worauf schon andere Autoren (KÖHNLE, VAN EBBENHORST - TENBERGEN und VAN ALBADA, GERKE, u.a.) hingewiesen haben.

Die Fehlergröße in der Norma frontalis bewegt sich aber innerhalb von Grenzen, die für Messungen am Röntgenbild als normal anzusehen sind. Die relativ hohen Abweichungen von Einzelwerten innerhalb der Meßreihen verlangen allerdings eine statistische Auswertung, wenn man wissenschaftlich konkrete Aussagen machen will.

D) Vergleichende Diskussion der Ergebnisse.

Die statistische Untersuchung der Unterschiede in der Verzerrung und Fehlergröße des fernröntgenologischen und röntgenstereoskopischen Verfahrens gegenüber direkten Messungen am mazerierten Schädel ergab folgendes:

Die Verzerrung fernröntgenologischer Aufnahmen des Schädels liegt bei einem Fokus - Film - Abstand von 250 cm im Mittelwert zwischen 6,72% (Norma frontalis) und 1,87% (Norma lateralis). Die Zahl der Norma lateralis hat dabei keinen großen Aussagewert, da sie sich aus Verzerrungen entgegengesetzten Vorzeichens zusammensetzt. Vielmehr ist die Verzerrung von Strecken, die von der Filmebene gleichen Abstand haben, in der Norma lateralis etwa gleich groß wie in der Norma frontalis. Solche Strecken aber, deren Endpunkte von der Filmebene ungleich entfernt liegen, werden bei den vorliegenden Expositionen desto mehr verkürzt abgebildet, je größer der Abstand der beiden Streckenendpunkten voneinander in Bezug auf die Filmebene ist. Man muß bei der Beurteilung der Verzerrung die Lage der auszumessenden Strecken innerhalb des Objektes betrachten. Es lassen sich aus den aufgeführten Gründen nur solche Strecken ausreichend exakt metrisch vergleichen, die in ihrem Verlauf von der Filmebene gleich weit entfernt und zu dieser parallel sind. Das bedeutet eine starke Einschränkung

für die metrische Auswertbarkeit von Strecken im Röntgenbild.

(Für die Messungen am Kiefer- Gesichtsschädel ist das allerdings nicht von allzu großer Bedeutung, weil die interessierenden Gebiete ungefähr gleich weit von der Filmebene entfernt liegen.)

Das hier Gesagte gilt im gleichen Maße für das röntgenstereoskopische Bild. Allerdings kommen diese Momente hier wegen der stärkeren Divergenz der abbildenden Strahlen noch mehr zur Auswirkung. Entsprechend dem geringeren Fokus- Film- Abstand von 70 cm beträgt die Verzerrung bei den Stereoskopischen Messungen im Mittel in der Norma frontalis 21,70% und in der Norma lateralis 17,89% gegenüber den direkten Skelettmessungen.

Der Unterschied im Grade der Verzerrung in der Norma lateralis beim fernröntgenologischen und röntgenstereoskopischen Verfahren zeigt, daß die Auflösung ins Räumliche die oben beschriebene Verkürzung von Strecken mit von der Filmebene ungleich entfernten Endpunkten aufheben kann. Dieser Vorteil der stereoskopischen Methode wird jedoch durch den in der Norma lateralis deutlich auftretenden Meßfehler wieder abgeschwächt.

Der Meßfehler ist bei direkten und fernröntgenologischen Messungen am Schädel nur unwesentlich unterschieden, wobei er in der Norma frontalis durchweg etwas geringer ist, als in der Norma lateralis.

Bei den röntgenstereoskopischen Messungen ergab sich für die Norma frontalis gegenüber den beiden erstuntersuchten Verfahren ein erhöhter Fehler. Er liegt aber durchaus innerhalb der für röntgenologische Verfahren üblichen Grenzen und wird durch die Vorteile, die die Röntgenstereoskopie bietet aufgewogen. In der Norma lateralis ist der Fehler allerdings so hoch und schwankt bei einzelnen Messungen so stark, daß man mit der wissenschaftlichen Auswertung der Ergebnisse zurückhaltend sein sollte.

Die röntgenstereoskopische Methode in der Norma frontalis hat, trotz des leicht erhöhten Meßfehlers gegenüber der fernröntgenologischen den Vorteil, daß parallel zur Filmebene liegenden Strecken und Flächen in verschiedenen Schichten exakter erfaßt und ausgewertet werden können.

Damit ist die Behauptung einiger Autoren (Van EBBENHORST - TENGBERGEN und VAN ALBADA; GRÖBE; u.a.); daß die Röntgenstereoskopie des Kiefer - Gesichts-Schädels keine genügend objektive Methode sei, zumindest teilweise widerlegt.

III. ZUSAMMENFASSUNG!

Die Problematik von Messungen am Skelett und am Röntgenbild wurde umrissen. Dabei ist auf die Vor- und Nachteile der fernröntgenologischen und röntgenstereoskopischen photogrammatrischen Methode eingegangen worden.
Die Größe der Verzerrung und die Abweichungen in der Meßfehlergröße dieser beiden Ausmeßverfahren gegenüber Messungen am mazerierten Schädel wurden durch statistische Untersuchungen nachgewiesen und diskutiert.

IV. Literaturangaben

Bauer, K.	ABC der Röntgentechnik Thieme Verlag Leipzig 1948
Bleifuß - Rilat	Kieferorthopäd. Prognose und Fernröntgen-Diagnose in USA Fortschr.Kieferorthopädie Bd. 14, H.3, 1953
Bloom jr., H.L.	A Method Study of the Northwestern Stereocephalometer Americ.J.of Orthodontics 43, 1957.
Broadbent, B.H.	A New Technique and its Application to Orthodontia Angle Orth. 1, 45, 1931
ders.	The Use of X-Ray Silhouettes in Tracing Facial Growth J.Dent.Res. Bd. 13, 1933
Broadway, E.S., Healy, M.J.R., and H.G. Poyton	The Accuracy of Tracings from Cephalometric Lateral Radiographs Dent.Pract. 12, 1962
Brodie, A.G.	Cephalometric Roentgenology: History, Technics and Uses J.Or.Surg. 7, H.3, 1949
Cieszyński, A.	Zahnärztliche Röntgenologie Leipzig 1926

ders.	Die Röntgenuntersuchung der Zähne und der Kiefer. Leipzig 1913
Clementschitsch, F.	Röntgendarstellung des Gesichtsschädels. Urban & Schwarzenberg/Wien 1948
Cohn, M. und Barth	Die stereoskopische Lokalisation. Lehrbuch der Röntgenstereoskop. Thieme Verlag Leipzig 1931
de Coster, L.	Eine neue Bezugslinie mit großer Genauigkeit zum Studium sagittaler Fernröntgenaufnahmen Fortschr.Kieferorthopädie Bd.13 H.2, 1952
Dausch-Neumann, D.	Die Fernröntgenaufnahme in der Norma frontalis bei der Progenie. DZZ, H. 22, 1960
Documenta Geigy	Wissenschaftliche Tabellen. 6. Aufl. Basel 1960
Van Ebbenhorst-Tengbergen, I.und L.E.W. van Albada	Die Röntgenstereoskopie, ihr Wert und ihre Verwendung. Röntgenkunde in Einzeldarstellungen Band 2 , 1931 Julius Springer Verlag Berlin
Gerke, J.	Über Messungen am Röntgenbild. Fortschr. Kieferorthop.1, 1956

Forman, M. — Ein Verfahren für stereoskopische Röntgenaufnahmen der Brust. Röntgenhinweise (Gevaert) 10, 1964

Grünert, F. und H. Köhnle — Erweiterung des Arbeitsgebietes und allgemeine Anwendbarkeit der objektiven Röntgenstereoskopie. Röntgenpraxis Jhrg.4,H.6,1932

Hasselwander, A. — Die objektive Stereoskopie an Röntgenbildern. Georg Thieme Verlag,Stuttg.1954

ders. — Über den weiteren Ausbau der Raumbildmessung am Röntgenstereogramm. Sitzungsberichte der Physikal. Med. Sozietät zu Erlangen Band 67, 1935/36

ders. — Das Röntgenraumbild. Techn. Mittelungen f. Röntgenbetriebe, Nr. 17, 1936

Hauptmeyer, F. — Über die Technik der stereoskopischen Röntgenaufnahme bei Schußverletzungen des Gesichtsschädels. In " Die gegenwärtigen Behandlungswege der Kieferschußverletzungen". Verlag von J.F. Bergmann Wiesbaden 1916

Hausser, E. — Schädelaufbau bei anatomisch korrekter Okklusion. Fortschr.Kieferorthop. 3, 1956

ders. — Weichteilprofil und knöchernes Profil bei anatomisch korrekter Okklusion. Fortschr.Kieferorthop. 1, 1955

ders. — Die aufnahmetechnischen Bedingungen der Fernröntgenaufnahme. Zahnärztl.Welt, Jhrg.7, Nr.20

Hermann, H. — Histologische Befunde der Schleimhaut des Oberkiefers nach Gaumennahterweiterung bei Gaumenspalten. Fortschr. Kieferorthopadie 17, H.3, 1956

Hotz, R. — Ist das Fernröntgenbild für die Beurteilung und Therapie einer Bißanomalie notwendig? Fortschr. Kieferorthopädie Bd. 20, H.2, 1959

Ingram, F.L. — Stereoscopic Intraoral Radiographic. Brit.Dent.J.86,H.2, 1949

Johnson, E.L. — Der Winkel zwischen Frankfurter Horizontalen und Mandibularebene in Beziehung zur Profilbetrachtung. Americ.J.Orth. 36,H.7, 1950

Jung, T. — Was leistet das Fernröntgenbild für die Cephalometrie? DZZ 20, H.1, 1965

Köhnle, H. — Besonderheiten der Röntgenstereoskopie. Photographie und Wissenschaft H. 2, Jahrg. 9, 1960

ders. — Wege und Ziele der Röntgenschirmbildstereoskopie. Röntgen-Blätter H.11, Jhrg.13, 1960

Köhnle,H. und W. Teschendorf — Die Röntgenstereoskopie. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden Abt.II, Physikalische Methoden Teil 3

Kohl, E. — Über die Röntgenologische Darstellung des Felsenbeins mit Hilfe automatischer Vorrichtungen. Inaug. Diss. Köln 1937

Korkhaus, G. — Diagnostik der Gebißanomalien. Fortschr.Kieferorthopädie Bd. 13, H.4, 1952

ders. — zit. nach Schwarz, A.M.: Lehrgang der Gebißregelung, Bd. II Verlag Urban & Schwarzenberg Wien

Koski, K. — Röntgenographisch- cephalometrische Methoden zur Diagnose von Entwicklungsstörungen im dentofacialen Bereich. Odont. Tskr. 59, H.1/2, 1951

Kulkarni, J. — Die Fernröntgenaufnahme in der Norma frontalis. Inaug. Diss. Bonn 1958

Lehmann, I. — Die "Entzerrung" des Röntgenbildes. Inaug. Diss. Düsseldorf 1939

Margolis, H. — Die Erkennung dento- facialer Anomalien in der klinischen Kieferorthopädie. Fortschr.Kieferorthopädie Bd. 13, H. 4, 1952

Müller, H. — Beitrag zur intraoralen Röntgenstereoskopie. Dtsch.Zahn-M.-u.K.-Heilk. Bd. 23, H.1 und 2,1955

Nawrath, K. — Über die Maß - und Winkeltreue der Fernröntgenaufnahme des Schädels. Fortschritte der Kieferorthop.

Paatero, Y.V. — Über stereoskopische Röntgenaufnahmen des Kiefergelenkes. Suom. hammaslääk. toim. 54, H.1, 1958

ders. — Pantomographische Röntgenphotographie. Fortschr. Kieferorthopädie Bd. 13, H. 3, 1952

Paschke, H. — Der Einfluß der orthopädischen Behandlung des deformierten Oberkiefers auf den Gesichtsschädel. Fortschr. der Orthodontik und der Zahnheilkunde H. 1 und 2 1937 oder Dtsch. Zahn- Mund- u. Kieferheilk. Bd. 4, H. 4 u. 7, 1937

ders. — Über die Erweiterung der knöchernen Nase durch die kieferorthopädische Behandlung. Der Hals-, Nasen- und Ohrenarzt Bd. 33, H. 6, Joh. Ambr. Barth Verlag, Leipz. 1943

Poppe, H., Lohstöter, T. und Ph. Lauwers — Technik der Röntgendiagnostik. Georg Thieme Verl. Stuttg. 1961

Praeger, W. — Das intraorale Röntgenbild München 1936

Raithelhuber, W. — Über die gleichzeitige Gewinnung der beiden Teilbilder des Röntgenraumbildes. Inaug. Diss. Düsseldorf 1940

Rein, H. Physiologie des Menschen. 13./14. Aufl. Springer Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg 19d

Richter, H. Über Beziehungen zwischen Gebiß und Nase. Paradentium, 11. Jahrgang, Nr. 6, Berlin 1939

Rid, B. Die Tiefenlage der Augen. Inaug. Diss. Erlangen 1937

Sassouni, V. Position of the Maxillary 1st permanent Molar in the Cephalo-facial Complex. Americ. Journ. of Orth., Vol. 43, Nr. 7, 1957

Schindler, J. Leitfaden der zahnärztlichen Röntgentechnik. Leipzig 1927

Schwarz, A.M. Die Röntgenostatik. Verlag Urban & Schwarzenberg Wien - Innsbruck 1958

Siebeck, R. Akkomodation und binokularer Sehakt. Halle, Marhold 1957

Simon, P. Grundzüge einer systematischen Diagnostik der Gebißanomalien, nebst Darbietung einer neuen Einteilung auf Grund Gnathosta tischer Untersuchungsmethoden. Verl. Meußer Berlin 1922

Staudenraus, J. — Über die Entwicklung der Kieferhöhle nach der Geburt. Inaug. Diss. Erlangen 1939

Teschendorf, W. — Über Stereoprojektion des Schädels. Fortschr. Röntg. Str. H. 1, 17, 1930

Trendelenburg, W. — zit. nach Hasselwander, A.: Die objektive Stereoskopie an Röntgenbildern. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1954

Meinem verehrten Lehrer Professor Dr. Dr. med. H. Paschke möchte ich meinen Dank für die Anregung zu dem Thema und für seine Anleitung zum Ausdruck bringen.

Lebenslauf.

Am 5. Juni 1940 wurde ich als zweites Kind des Zahnarztes Dr. Eberhard Merkle und seiner Ehefrau Hildegard, geb. Brastrup in Stuttgart geboren. Nach vier Jahren Volksschule in Eßlingen trat ich 1950 in das Mädchengymnasium in Eßlingen ein, das ich bis zur Reifeprüfung im März 1959 besuchte.

Im Frühjahr 1959 begann ich an der Universität Tübingen mit dem Studium der Zahnheilkunde und legte dort nach 5 vorklinischen Semestern die zahnärztliche Vorprüfung ab.

Im Sommer 1962 studierte ich an der Universität Zürich, Schweiz.

Zum Abschluß meiner Studien wechselte ich an die Universität Erlangen - Nürnberg über, wo ich am 3. Juli 1964, nach zehn Fachsemestern, die zahnärztliche Prüfung beendete. Von Juli bis Oktober 1964 war ich an der Prothetischen Abteilung der Klinik und Poliklinik für Zahn- Mund- und Kieferkranke der Universität Erlangen als Assistentin tätig.

Am 27. November 1964 heiratete ich in Eßlingen am Neckar den Doktor der Medizin und der Zahnheilkunde Alfred Berz.

Seit Februar 1965 bin ich als Schulzahnärztin in Zürich tätig.

Offset-Fotodruck
- W. Hogl, Erlangen, Brüxer Straße 9, (Nähe Röthelheimbad) Telefon 15336 -

Offset-Fotodruck
– W. Hogl, Erlangen, Brüxer Straße 9, (Nähe Röthelheimbad) Telefon 15336 –